

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Вагоны»

ГРУЗОВЫЕ ВАГОНЫ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов
учреждений высшего образования специальности
«Подвижной состав железнодорожного транспорта»*

Под общей редакцией
заслуженного работника образования Республики Беларусь,
доктора технических наук, профессора *В. И. Сенько*

Гомель 2018

УДК 629.423 (075.8)
ББК 39.24
Г90

Авторы: *В. И. Сенько* (разд. 1–4); *Е. П. Гурский* (разд. 1); *И. Л. Чернин*,
Р. И. Чернин (разд. 2); *Е. Н. Коновалов*, *В. В. Белогуб* (разд. 4)

Рецензенты: заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» д-р.
техн. наук, профессор *М. Б. Кельрих* (Государственный эконо-
мико-технологический университета транспорта, г. Киев);
заместитель начальника вагонного хозяйства *А. В. Динкевич*
(Управление Белорусской железной дороги)

Г90 **Грузовые вагоны железных дорог** : учеб. пособие / *В. И. Сенько*
[и др.] ; под общ. ред. *В. И. Сенько* ; М-во трансп. и коммуникаций
Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2018. –
531 с.
ISBN 978-985-554-562-1

Излагаются основные вопросы технического обслуживания и текущего
ремонта грузовых вагонов, организации и технологии ремонта грузовых ваго-
нов на ремонтных предприятиях, экономико-математических методов и моде-
лей в планировании вагонного хозяйства, технической диагностики и продле-
ния срока службы грузовых вагонов.

Предназначено для студентов специальности «Подвижной состав желез-
нодорожного транспорта», а также может быть использовано инженерно-
техническими работниками вагонного хозяйства железной дороги.

УДК 629.423 (075.8)
ББК 39.24

ISBN 978-985-554-562-1

© Оформление. БелГУТ, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Транспорт – составная часть экономики государства, поскольку является средством перемещения сырья и материалов, промышленной и сельскохозяйственной продукции, энергоносителей между производителями и потребителями, между отдельными регионами и в межгосударственном сообщении. Железнодорожный транспорт занимает ведущее положение среди других видов транспорта в осуществлении перевозок. Важной характеристикой качества и надежности железнодорожного подвижного состава являются затраты на его эксплуатацию и ремонты, то есть затраты на поддержание и восстановление работоспособного состояния и технического его ресурса в процессе эксплуатации.

Эффективность работы железнодорожного транспорта во многом зависит от эксплуатационной надежности подвижного состава, поддержания вагонов на высоком техническом уровне. Нарушения нормального процесса продвижения поездопотоков, вызванные неисправностью подвижного состава, создают опасные ситуации, угрожающие безопасности пассажиров и не обеспечивающие сохранность перевозимых грузов, увеличивают простои вагонов, снижают регулярность перевозок, ухудшают экономические показатели работы железных дорог.

Высокая эксплуатационная надежность вагонного парка может быть достигнута только при условии своевременного и качественного выполнения плановых и внеплановых мероприятий по его оздоровлению.

Для повышения эффективности функционирования вагоноремонтного производства, а следовательно, и всей транспортной системы страны, необходимо комплексное решение ряда вопросов: улучшения конструктивной надежности вагонов и качества их плановых ремонтов; совершенствования применяемой технологии и внедрение новых технологических процессов в ремонтное производство на вагоноремонтных предприятиях, усиления вагоноремонтной базы и ее технического оснащения.

Затраты на содержание грузовых вагонов в эксплуатации за срок службы вагона превышают его балансовую стоимость в 3–4 раза. Поэтому рациональная организация и высокое качество ремонта вагонов наряду с отлич-

ным содержанием и обслуживанием их в эксплуатации является важным средством повышения долговечности и надежности подвижного состава, обеспечения безопасности движения на железных дорогах и бесперебойной их работы. Для выполнения указанных требований необходима значительная реконструкция вагоноремонтной базы республики.

Производственный цикл вагоноремонтного предприятия характеризуется большим разнообразием достаточно сложных процессов, протекающих в различных организационных и технологических сочетаниях и формах. Сложность процесса усугубляется тем, что в нем участвует значительная номенклатура материалов, деталей и сборочных единиц, перемещающихся в разных направлениях, и часть из них на большие расстояния. В связи с этим на вагоноремонтном предприятии предусматривается разветвленная система технологических и транспортных потоков для перемещения каждого изделия после разборки к месту ремонта, во время ремонта и при обработке с предыдущей операции на последующую, при перемещении к месту сборки и в процессе сборочных операций. Поэтому для повышения эффективности плановых ремонтов необходимо использовать в производстве новейшие научные разработки в области совершенствования технологии ремонта подвижного состава.

Трудоёмкость ремонта реальных объектов, поступающих в вагонные депо, зависит от их технического состояния и характеризуется значительными отклонениями от нормативных величин по типам вагонов, что затрудняет развитие и применение поточного метода в вагоноремонтном производстве. При рассмотрении вопроса об основных направлениях и перспективах совершенствования ремонта грузовых вагонов в условиях депо предпочтение следует отдавать гибким технологиям, вагонным депо с применением поточных линий гибкого маневрирования объектами ремонта.

Поддержание грузовых вагонов на высоком техническом уровне осложняется тем, что развитие вагонного парка проходит и еще долго будет проходить в условиях ограниченных материальных ресурсов. И это необходимо учитывать в учебном процессе в вузе, выпуская технически грамотных инженеров, высокоэрудированных, смелых, инициативных, способных решать эти сложные задачи в современных условиях.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

1.1 Краткий исторический обзор развития системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов

В настоящее время на железных дорогах стран СНГ действует уже десятая система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов.

Впервые после Великой Октябрьской социалистической революции в 1922 г. на железных дорогах страны была введена система трехгодичного конвенционного осмотра с периодичностью проведения 1 раз в 3 года. Дальнейший период характерен тем, что на транспорт с 1926 г. начали поступать грузовые вагоны отечественного производства, изготовленные из металла. Все больше появлялось вагонов с хребтовой балкой. Конструкционная надежность вагонов повышалась. Однако в связи с ростом потребности страны в грузовых перевозках железные дороги испытывали нехватку подвижного состава. Один из путей уменьшения этого дефицита – увеличение межремонтных сроков. Тем более, что к этому были и объективные предпосылки, определяемые совершенствованием конструкции вагонов. И в 1928 г. был установлен срок периодического осмотра вагонов через каждые 3 года, а для вагонов с хребтовой балкой – 4 года.

Одним из важнейших в развитии вагонного хозяйства и системы технического обслуживания является период с 1933 по 1941 гг. В 1933 г. Советом Народных Комиссаров СССР и ЦК ВКП(б) было принято постановление «О работе железнодорожного транспорта». Для усиления вагонного хозяйства Управление тяги было разделено на два: локомотивного и вагонного хозяйств. Успешное развитие отечественной промышленности позволило начать оснащение железнодорожного транспорта 4-осными вагонами повышенной грузоподъемности. И уже в 1934 г. было поставлено 15 тыс. таких вагонов. Расширялась и укреплялась вагоноремонтная база. С 1935 по 1941 гг. было построено 81 вагонное депо, 228 вагоноремонтных пунктов, 483 автоконтрольных пункта и компрессорных, 17 промывочно-пропарочных станций, 16 вагоноколесных мастерских и организовано 917 пунктов технического осмотра. Надежность вагонов повышалась как за счет применения металлических конструкций и специальных гнутых профилей, так и за счет

оснащения их автоматической сцепкой и автотормозами. Безусловно, такие изменения должны были повлечь за собой и изменения в системе технического обслуживания и ремонта вагонов. В 1933 г. вместо конвенционного был введен капитальный ремонт, однако межремонтные сроки остались без изменений.

В 1934 г. была принята новая система ремонта, которая предусматривала дифференцированный подход к межремонтным срокам с учетом оснастки вагонов, так как четырехосные вагоны были более совершенными по конструкции. Срок между капитальными ремонтами для четырехосных вагонов был установлен 8 лет, а двухосных – 6 лет, периодичность нового вида ремонта – среднего – соответственно 4 и 3 года. Существовавшая в то время система осмотра вагонов на обменных пунктах не дала ожидаемого результата. В связи с этим был введен текущий ремонт вагонов, требующий отцепки их от поездов. Вместе с тем должно было производиться периодическое годовое освидетельствование вагонов. Все это способствовало повышению надежности вагонов в эксплуатации. Были приняты также меры, направленные на совершенствование управления техническим обслуживанием и ремонтом вагонов. Для повышения качества отцепочного ремонта вагонов были введены должности приемщиков при вагонных депо, а на дорогах – инспекторов Центрального управления вагонного хозяйства НКПС. В обязанности этих работников входил контроль за состоянием грузовых вагонов, качеством их ремонта и выполнением технологических процессов.

За годы Великой Отечественной войны вагонному хозяйству был нанесен серьезный ущерб. Парк подвижного состава сократился на 40 %, 130 вагонных депо было разрушено и повреждено. В послевоенный период необходимо было произвести в сжатые сроки огромный объем работ по восстановлению разрушенного хозяйства. Такое положение было одной из причин того, что в 1946 г. была введена система ремонта вагонов по техническому состоянию. К 1950 г. вагонный парк был практически приведен в исправное состояние, восстановлена и значительно укреплена вагоноремонтная база.

С 1950 г. на сети действовала система ремонта, предусматривавшая выполнение капитального, среднего, а также годового периодического ремонтов. Это была система, аналогичная существовавшей в период 1933–1941 гг.

Продолжавшееся совершенствование конструкции вагонов, усиление мощности вагоноремонтной базы, повышение качества технического обслуживания и ремонта создавало предпосылки для внедрения новых, увеличенных межремонтных сроков. В 1954 г. были установлены следующие сроки ремонта: капитальный – через 10, средний ~ через 5 лет. В дополнение к капитальному и среднему был введен годовой ремонт грузовых вагонов.

В 1962 г. была принята система технического обслуживания и ремонта вагонов с учетом интенсификации их эксплуатации. Эта система предусматривала отмену среднего ремонта и введение новых сроков заводского

ремонта. Для крытых вагонов, платформ и цистерн был установлен срок заводского ремонта через каждые 10 лет, для полувагонов – через 7, для вагонов-ледников и рефрижераторных вагонов – через 6, цистерн кислотных – через 4 года после постройки или предыдущего заводского ремонта. Исключение составляли вагоны, для которых депо́вской ремонт производился через два года после постройки или заводского ремонта, затем – ежегодно. Эта же система предусматривала введение профилактического ремонта для полувагонов, как наиболее интенсивно эксплуатирующегося типа вагонов, который должен был производиться через 6 месяцев после заводского или депо́вского ремонта. В этот период на железных дорогах находит применение новая форма оздоровления вагонного парка – подготовка грузовых вагонов под погрузку.

Но наиболее совершенной была система, принятая в 1971 г. В отличие от других она была принята после тщательного анализа технического состояния вагонного парка. Согласно приказу № 36Ц этой системой предусматривалось выполнение следующих видов плановых ремонтов и технических обслуживаний: заводской ремонт, депо́вской, текущий отцепочный и безотцепочный ремонты, технический осмотр, техническая ревизия и профилактический ремонт.

В дальнейшем система предусматривала более строгие определения и формулировки по видам технического обслуживания. Техническое обслуживание предусматривало выполнение:

- 1) ТО-1 – для всех типов вагонов в виде контроля технического состояния и выполнения комплекса работ в объеме безотцепочного ремонта;
- 2) ТО-2 – для порожних вагонов при выполнении контроля технического состояния и комплекса работ по подготовке к перевозкам, а также при выполнении текущего отцепочного ремонта на специализированных путях;
- 3) ТО-3 – для груженых вагонов при выполнении контроля технического состояния и комплекса работ с отцепкой от состава.

Выполнялись плановые депо́вской и заводской ремонты.

Все существовавшие системы ремонта, за исключением системы 1946–1950 гг., были плано́во-предупредительными. Но они не предусматривали дифференцированного подхода к вагонам, как объектам с различной степенью эксплуатации и временем постройки.

Согласно приказу № 32Ц от 22 сентября 1960 года с 1 января 1981 г. была введена дифференцированная система ремонта и обслуживания вагонов. Она в своей основе является плано́во-предупредительной и предусматривает:

- 1) техническое обслуживание (ТО) вагонов, находящихся в составах или транзитных поездах, а также порожних вагонов при подготовке под погрузку без отцепки их от состава или группы вагонов;
- 2) текущий ремонт (ТР-I) порожних вагонов при комплексной подготовке к перевозкам с отцепкой от состава вагона или группы вагонов и подачей на специализированные ремонтные пути;

3) текущий ремонт (ТР-2) вагонов с отцепкой от транзитных и прибывших поездов или от сформированных составов;

4) деповской ремонт (ДР) вагонов для восстановления их работоспособности с заменой или ремонтом отдельных узлов и деталей;

5) капитальный ремонт (КР) вагонов для восстановления их ресурса.

Планируемые межремонтные сроки деповского и капитального ремонтов приведены в таблице 1.1.

Т а б л и ц а 1.1 – Межремонтные сроки грузовых вагонов, согласно приказу № 32Ц

Тип вагонов	Деповской ремонт			Капитальный ремонт
	после постройки	после деповского ремонта	после капитального ремонта	после постройки или капитального ремонта
1 Крытые:				
– с объемом кузова 120 м ³	2	2	2	12
– ” ” ” 106 м ³	–	1	2	10
– зерновозы	2	1	2	10
– для перевозки сырья, минеральных удобрений	2	1	2	10
– для перевозки автомобилей	2	1	2	10
– для перевозки скота	2	1	2	10
– хоперы для перевозки цемента	2	1	2	10
2 Платформы:				
– с металлическими бортами в период до первого капитального ремонта	2	2	2	12
– с деревянными и металлическими бортами	–	1	2	10
– для перевозки контейнеров	2	2	2	12
– двухъярусные для перевозки автомобилей	2	1	2	10
3 Полувагоны:				
– постройки до 1964 г., в т.ч. модернизированные и 6-осные	–	1	2	5
– 4-осные постройки после 1963 г., в т.ч. модернизированные	–	1	2	8
– 4-осные постройки с 1973 г. в период до первого капитального ремонта	2	2	2	10
– 4-осные модернизированные с усилением рамы по проекту № М-873	–	1	2	7
– 8-осные	2	1	2	8

Окончание таблицы 1.1

Тип вагонов	Деповской ремонт			Капитальный ремонт
	после постройки	после деповского ремонта	после капитального ремонта	после постройки или капитального ремонта
– хопперы для перевозки горячих окатышей и агломератов	2	1	2	4
4 Цистерны:				
– нефтебензиновые постройки после 1964 г. в период до первого капитального ремонта	2	2	2	10
– нефтебензиновые постройки до 1964 г.	–	1	2	10
– 8-осные	2	1	2	10
– для перевозки кислоты	2	1	2	4
– для улучшенной серной кислоты	2	1	2	6
– для сжиженных газов	2	2	2	10
– для перевозки пищевых продуктов	2	2	2	10
– цементовозы	2	1	2	4
– битумные вагоны	2	1	2	4

Крытые вагоны с объемом кузова 120 м³, не требующие замены крыши, проходят первый капитальный ремонт через 14 лет.

Формирование и совершенствование систем технического обслуживания грузовых вагонов в развитых странах ведется с учетом условий эксплуатации (принадлежность к различным фирмам, как железнодорожным, так и не железнодорожным, режим эксплуатации, масса поездов, их скорость и т. д.), надежности вагонов, интенсивности пополнения парка вагонов более совершенными, специализации вагонов.

Необходимо отметить, что интенсивность эксплуатации грузовых вагонов на железных дорогах рассматриваемых стран значительно ниже, чем была на дорогах СССР, но насыщенность вагонного парка специализированными вагонами выше. В 1975 году число специализированных вагонов на железных дорогах США составляло 50 %, на государственных дорогах ФРГ – более 40 %, и доля этих вагонов продолжала возрастать. Все большее распространение в конструкциях грузовых вагонов находят алюминиевые сплавы, низколегированные стали, применение которых позволяет снизить материалоемкость конструкции и повысить ее коррозионную стойкость.

Таким образом, **на железных дорогах постсоветского пространства** в течение всего исторического периода развития железнодорожного транспорта **в основе СТОИРВ применялся критерий календарной продолжительности эксплуатации**, согласно которому каждый вагон подлежал пла-

новому виду ремонта через определенный интервал времени, исчисляемый от даты постройки или его последнего планового ремонта. Достоинство такого критерия – возможность обеспечения кратности нормативного срока службы и длительности межремонтных периодов вагона и, как следствие, простота и высокая достоверность прогнозирования вывода вагонов в ремонт, потребности в обеспечении трудовыми, материальными и финансовыми ресурсами, что значительно упрощает планирование. Недостатком является вывод единичного вагона в ремонт независимо от выполненного им объема работы и без учета уровня обеспечения его сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. *В условиях жестко нормированного планового хозяйства все вагоны за равный промежуток времени имели примерно одинаковый уровень физического износа (техническое состояние) на стадии вывода в ремонт.* Однако с переходом к рыночным отношениям этот недостаток становится существенным вследствие нарушения стабильности использования вагонного парка во времени в перевозочном процессе. При таком положении физический износ вагонов при выводе в ремонт различен и колеблется в больших пределах, что влечет за собой подачу части вагонов в ремонт с недоиспользованным техническим ресурсом и, как следствие, необоснованные ремонтные затраты. Другая часть вагонов выводится в ремонт с повышенной степенью физического износа, устранение которого требует в лучшем случае дополнительных затрат, а в худшем может привести к авариям и крушениям.

1.2 Системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов за рубежом

В США железные дороги самостоятельно формируют систему технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов. К государственным организациям, которые каким-то образом оказывают влияние на упорядочение эксплуатации и обслуживания вагонов, относятся Американская ассоциация железных дорог (ААЖД) и Федеральная железнодорожная администрация (ФЖА). ААЖД устанавливает лишь технические нормативы, которым должны отвечать вагоны по условиям безопасности движения. Ремонт грузовых вагонов проводился в зависимости от технического состояния. Однако это приводило к постоянному росту крушений и аварий. Поэтому ФЖА взяла курс на внедрение плано-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта, реализация которой, по их мнению, должна была несколько уменьшить дефицит в грузовых вагонах. Она разработала и выпустила проект стандартов по осмотру и ремонту вагонов, призванных обеспечить безопасность движения поездов. В этих стандартах особое вни-

мание было обращено на ходовые части и сцепные приборы. Согласно стандартам, все вагоны в зависимости от интенсивности эксплуатации подразделялись на две категории. Вагонам с малой интенсивностью межремонтные сроки устанавливались исходя из времени эксплуатации. Для них первый ремонт и осмотр производился через 7 лет после постройки, а затем – через 2 года. В середине срока службы вагона выполнялся капитальный ремонт. Для вагонов с большой интенсивностью эксплуатации критерием проведения осмотра и ремонта являлась величина пробега. Первый после постройки ремонт осуществлялся через 240 тыс. км пробега, а последующие осмотры – через 80 тыс. км.

Предложенный ФЖА стандарт состоит из нескольких разделов, относящихся к колесам, осям, буксовым подшипникам, другим деталям тележек, сцепкам и упряжным приборам, смазке букс. Проект предусматривает также запрещение использования устаревших типов грузовых вагонов и их деталей. Один из разделов стандарта посвящен требованиям, предъявляемым к осмотру вагонов. Каждый грузовой вагон осматривался перед отправлением в рейс на станции отправления или формирования поездов. Согласно правилам ААЖД разрешалось эксплуатировать только те вагоны, которые отвечают стандартам ФЖА. Начиная с 1977 года, вагоны подвергались всестороннему периодическому осмотру с целью установления соответствия технического состояния ходовых частей и сцепных приборов стандартам. Для вагонов с нормальным режимом эксплуатации был установлен 48-месячный интервал между упомянутыми осмотрами, а для вагонов с высокой степенью эксплуатации – 12-месячный. Вагоны, требующие ремонта, помечались красным и синим ярлыками, которые навешивали на вагоны осмотрщики. Красный ярлык свидетельствовал о необходимости подачи вагона на ремонтный путь, синий – о необходимости проведения более сложного ремонта, чем это предусмотрено правилами,

С улучшением технического состояния вагонов ФЖА переработала стандарты, исключив из них периодические осмотры. В этих стандартах имеется целый ряд изменений, относящихся к нормативным данным по техническому состоянию отдельных узлов и деталей вагонов. Они предусматривают также продолжение практики осуществления осмотров перед поездками и наложения штрафов на железные дороги, которые не устраняют дефекты вагонов, предписанные правилами. Были снижены требования к подшипникам скольжения и качения. По правилам ФЖА предполагается лишь контроль за наиболее ответственными деталями буксовых узлов с подшипниками скольжения. Требования к состоянию этих буксовых узлов определяются наличием необходимого количества смазки, отсутствием посторонних предметов, определенным состоянием полстеров в корпусе буксы. Было также определено, что роликовые подшипники могут безотказно

работать без замены смазки в течение всего срока службы колесной пары. Если на дороге возникла неисправность вагона, владельцем которого является другая компания, то фирма осуществляет ремонт при условии, если неисправность возникла по вине дороги или если компания обратилась с просьбой к дороге. В другом случае на дороге выполняется минимальный объем работ, необходимый для обеспечения перемещения вагона с дороги владельцу.

В процессе эксплуатации вагона постоянно происходит накопление данных о его «поведении». Источником таких данных являются индивидуальные карточки. Они содержат следующие сведения о вагоне: дату постройки; величину первоначальных затрат на его приобретение; тару; пробег; тип тормозов и тормозных колодок; марку колесных пар; данные о конструкции тележек, сцепных приборов и подшипников. Если при техническом обслуживании у вагона произведена смена узла или элемента, то эта информация заносится в карточку. В ней фиксируются также сведения о крушении, в которое попал вагон. Работники, занятые техническим обслуживанием и ремонтом вагонов, могут записать свои предложения по совершенствованию конструкции вагона в специальную графу – «Усовершенствования».

Ремонтные предприятия должны отвечать требованиям ААЖД. Периодически ААЖД инспектирует работу предприятий, копии ответов в этом случае направляют на те железные дороги, на которых будет эксплуатироваться проинспектированный вагон. На выбор расположения ремонтного предприятия, в котором осуществляются как плановые, так и внеплановые ремонты, оказывают влияние многие факторы: равное удаление от концов участков, обслуживаемых приписанным подвижным составом (уменьшение затрат по передаче вагонов в ремонт); наличие условий сортировочной станции (на таких станциях проводится переформирование составов – требуют вагоны отцепочного ремонта или не требуют); наличие квалифицированного ремонтного персонала (это в большей степени относится к ремонтному предприятию, по которому решается вопрос о целесообразности его реконструкции); удобство доставки на ремонтные пути запасных частей и материалов; связь с другими ремонтными предприятиями. Отличительной особенностью организации ремонтного производства является наличие передвижных заводов. Цель таких предприятий – выполнение срочных работ по восстановлению работоспособности вагона. Время нахождения вагона в ремонте невелико, а производственная мощность их ограничена. Если передвижное предприятие неспособно обслужить вагон (заняты площади или большой объем работ), то его отправляют на крупное предприятие.

Как правило, предприятие, выполняющее тяжелые виды ремонта, специализируется на ремонте нескольких видов подвижного состава. В отдельных депо производится ремонт всех видов. Например, в депо Бельвью железной дороги Норфолк и Западная предусмотрено три пути ремонта. На

первом производится легкий ускоренный ремонт, на втором – ремонт со сменой колесных пар, очисткой тормозного оборудования. На третьем пути производится капитальный ремонт.

Как уже отмечалось выше, на железных дорогах США не существует единой системы технического обслуживания и ремонта. Например, фирма «Трайлер-Трейн» ввела для своих вагонов систему планово-предупредительного ремонта. Вагонный парк этой фирмы отличает высокая степень эксплуатационной надежности. Периодический ремонт вагонов производится после пробега 650 тыс. км. Эта величина соответствует примерно семилетнему времени эксплуатации. Ремонт осуществляется в трех крупных ремонтных мастерских по договору, заключенному с фирмами.

На ремонтных предприятиях в г. Хаммонд и на ст. Чикаго дороги Иллинойс-Центральная грузовые вагоны ремонтируют по потребности, т. е. при обнаружении неисправностей. Но при этом выделяются вагоны, которые эксплуатируются наиболее интенсивно. Они ремонтируются в обязательном порядке.

В Олнексе (штат Небраска) и в Лорене (штат Монтана) осуществляются текущий и капитальный ремонты углевозных вагонов. Вагоны поступают в ремонт по графику планово-профилактического ремонта или через 200 тыс. км пробега.

Большое распространение на дорогах США получила система ремонта вагонов под названием «Уан спот систем», цель которой – сконцентрировать ремонтное оборудование в одном месте. Текущий отцепочный ремонт грузовых вагонов при этой системе производится в одном месте станции на специально оборудованных путях, специализирующихся на выполнении определенного вида работ.

Железная дорога «Иллинойс Централ Галор» (ИСТ) характеризуется следующими данными: эксплуатационная длина – 11,3 тыс. км, парк грузовых вагонов – 38 тыс. Для выполнения технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов на дороге имеются два основных вагонных депо (они могут одновременно принять для технического обслуживания и ремонта 285 грузовых вагонов), два вагоноремонтных завода, три однопозиционных пункта по техническому обслуживанию. Для повышения эффективности использования подвижного состава на дороге внедрена информационно-управляющая система MACS, предназначенная для сбора и обработки информации о фактическом состоянии вагонов, работах, которые были выполнены при техническом обслуживании и ремонте, о зарегистрированных эксплуатационных неисправностях, потребности в запасных частях и материалах и т. д.

Действующая на железной дороге Чесси Систем (ЧС) система технического обслуживания вагонов-хопперов предусматривает проведение легких

видов ремонта в одном из трех имеющихся депо. Эти депо расположены так, что большинство порожних вагонов-хопперов возвращаются к местам погрузки через станции, на которых расположены депо. В этих пунктах вагоны обязательно проходят техническое обслуживание. При отсутствии больших объемов работ, связанных с повреждением, вагон, проходя регулярно техническое обслуживание в одном из депо, находится в эксплуатации 3 года. Депо в г. Ньюпорт-Ньюс введено в эксплуатацию в апреле 1984 г. Стоимость строительства составила 18 млн долларов. Оно располагает четырьмя путями с ремонтными позициями. На территории депо для контроля качества ремонта имеется пять путей, вмещающих по 50 вагонов, и три пути, вмещающих по 200 вагонов, на которых вагоны ожидают подачи в эксплуатацию. В депо осуществляется техническое обслуживание и плановые ремонты. Ежедневно на путях контроля технического состояния осмотра и мелкому ремонту подвергаются около 700 вагонов и примерно 30 проходят ремонт непосредственно в депо.

Специалистами железных дорог отдельных компаний проводятся также работы по совершенствованию управления ремонтом вагонов. Компания «Норт амэрикэн кар», например, располагает 20 заводами на территории США и одним заводом на территории Канады, а также десятью передвижными ремонтными базами, представляющими собой мелкие предприятия. Эти предприятия действуют на малонапряженных маршрутах и обеспечивают легкие виды ремонта по плано-предупредительной системе. В случае необходимости проведения легкого ремонта предварительно рассматривается возможность его выполнения на одном из передвижных заводов. Если это по каким-то причинам невозможно выполнить, то вагоны отправляют на крупные ремонтные предприятия. Такой подход позволяет оперативно руководить загрузкой ремонтной базы и, как следствие, повышать качество ремонта. В 1980 году компания «Норт амэрикэн кар» произвела перестройку управленческого аппарата отделения по ремонту грузовых вагонов. В результате было создано 4 линейных центра управления по территориальному признаку. Такая система управления ремонтными предприятиями позволяет клиентам обращаться при необходимости в ближайший центр.

Следует также отметить, что на железных дорогах США около 30 % новых вагонов изготавливается на вагоноремонтных предприятиях. Это приводит к концентрации материальных, трудовых ресурсов, повышению уровня механизации и автоматизации ремонтных работ и, как следствие, к повышению эффективности системы технического обслуживания и ремонта.

Срок службы вагонов устанавливается на основании накопленного опыта эксплуатации и составляет от 20 до 40 лет в зависимости от типа. Однако и по истечении установленного срока вагоны не всегда списываются и изы-

маются из эксплуатации. С этой целью выполняются технико-экономические расчеты, основой которых являются статистические данные о характеристиках износа. Особое внимание обращается на техническое состояние вагонов во второй половине установленного срока службы. Если доказывается технико-экономическая целесообразность эксплуатации грузового вагона за пределами установленного срока службы, то для них выполняется особая категория ремонта – G7. При этом производятся не только ремонтные работы, но и модернизация вагона, позволяющая увеличить срок его службы.

Вагоностроительные компании США продолжают совершенствовать выпускаемую продукцию и разрабатывать новую с учетом изменения потребностей рынка. В 2004 г. компания Trinity Industries разработала новый *вагон-платформу для двухъярусной перевозки крупнотоннажных контейнеров, крытый вагон-хopper с объемом 180 м³ и крытый вагон для перевозки зерна*. Одним из последних проектов Trinity было создание *вагонов-термосов для перевозки пива и вина*. Постоянной задачей компании является совершенствование существующих конструкций. Она организовала линейную службу, которая отслеживает процессы погрузки и выгрузки с целью модернизации конструкции для повышения эффективности и экономичности работы вагонов.

Компания «Greenbrier» совместно с фирмой по производству строительных и химических материалов «Martin Marietta Materials» разработала опытный крытый вагон длиной 18,3 м с теплоизоляцией кузова. Этот вагон-термос в одном направлении будет перевозить грузы, чувствительные к температуре, а в обратном направлении – пакетированные. Наряду с традиционными стальным полом и крепежными приспособлениями в его конструкции применены модные композиты. Другая разработка Greenbrier – вагон с центральной перегородкой для перевозки лесоматериалов. Вагон длиной 22,3 м с низким уровнем погрузочной площадки позволяет полностью использовать преимущества увеличенного габарита 286 K GRL.

Компания «Jonstown America» занимается поиском ниш на рынке грузовых вагонов, освоение которых возможно за счет существенных новшеств. Характерны три примера: вагон с кузовом из алюминиевых сплавов для перевозки автомобилей (AVC), вагон со скелетообразным кузовом для перевозки плоских стальных слябов и вагон VersaCoil с девятью поперечными желобами и съемной крышей для перевозки стали в рулонах. Вагон VersaCoil вмещает 17 рулонов шириной 1220 мм или разное число рулонов диаметром от 760 до 1830 мм. Компания «Wabtec» разработала вагон-платформу с выдвижной рампой для погрузки-разгрузки автомобильных полуприцепов.

Рост экономики и объемов грузовых перевозок в США в последние годы, старение подвижного состава способствовали значительному увеличению заказов железных дорог и частных компаний, перевозчиков грузов на поставку новых вагонов.

Прогнозируемый ассоциацией ЕРА рост потребностей железных дорог США в расширении и обновлении парка грузового подвижного состава основывается на ряде факторов, среди которых восстановление процесса экономического развития Юго-Восточной Азии, продолжающееся расширение североамериканского рынка подвижного состава, увеличение объема перевозок угля на тепловые электростанции.

Железные дороги США 1-го класса осуществляют прямые закупки подвижного состава у вагоностроительных предприятий. Железная дорога «Burlington Northern Santa Fe» разместила в 1999 г. заказ на сумму 50 млн дол. на поставку 1 тыс. платформ для двухъярусных перевозок грузов. Железная дорога «Norfolk Southern» закупила в 1999 г. большое количество новых грузовых вагонов, включая транспортеры с многоярусными рамочными стойками для перевозки автомобилей и вагоны большой вместимости и длиной 18 м для перевозки автомобильных узлов.

Вагоностроительные фирмы США продолжают совершенствовать выпускаемые грузовые вагоны, работать над новыми конструкциями их узлов в условиях высокой конкуренции и постоянно растущих требований со стороны железных дорог. При этом общей целью является обеспечение лучшей окупаемости капитальных вложений. В качестве примеров новых усовершенствованных вагонов можно привести хоппер «AutoFlood» для перевозки сыпучих грузов и крытый «Auto-Max» для перевозки автомобилей повышенной грузоподъемности и вместимости, оснащенные различными устройствами для ускорения погрузочно-разгрузочных операций.

По утверждению ЕРА, необходимо увеличить вместимость крытых хопперов, в том числе для перевозки зерна и угля, крытых вагонов для бумаги, вагонов-платформ с центральной балкой, цистерн, полувагонов. Нуждаются в замене стареющие вагоны для перевозки автомашин, угля и универсальные. В перспективе прогнозируемый рост рынка железнодорожных перевозок, в том числе обусловленный соглашением о свободной торговле между странами Северной Америки (НАФТА) и расширением процессов глобализации, окажет стимулирующее влияние на спрос на подвижной состав. Кроме того, из-за недостаточных инвестиций в подвижной состав в эксплуатации остались старые вагоны, которые требуют срочной замены.

Около 12 % парка грузовых вагонов в США и Канаде имеет срок службы более 30 лет.

Компания «Johnstown America», как и другие вагоностроители, уделяя основное внимание совершенствованию конструкций выпускаемых вагонов,

добилась снижения массы вагона с кузовом из алюминия, предназначенного для перевозок угля, с 20,4 до 19 т. К другим улучшениям относятся увеличение до 1219 мм, т. е. на 60 %, размера люков в свету у углевозных вагонов и изменения в системе их открывания и закрывания. Совместно с компанией «Maxion» построена крупная партия крытых вагонов с алюминиевым кузовом для перевозки зерна для железных дорог Чили.

Компания «America Rail Car Industries» (ARCI) применяет на цистернах усовершенствованный сливной клапан, не повреждающийся при работе. Федеральные требования обусловили некоторые изменения в конструкции вагонов, особенно цистерн. От компаний – изготовителей подвижного состава требуется обеспечить большие грузоподъемность и вместимость, не выходя за рамки действующих ограничений. Соблюдая эти требования, компания «ARCI» выпустила крытый хоппер с четырьмя бункерами и применяет на вагонах легкие детали из пластических материалов.

Многие фирмы продолжают совершенствовать конструкции вагонов, внося относительно незначительные изменения. Так, «Green-brier» выпускает новые вагоны увеличенной вместимости для перевозки леса, а также обеспечивающие лучшую защиту рулонов бумаги от повреждений.

Отделение фирмы «Trinity Industries» модернизировало вагоны для перевозки бумаги, изменив конструкции крыши и дверей с целью предотвращения попадания воды. Это отделение разработало также для смешанных перевозок большой крытый вагон высокой вместимости грузоподъемностью 90,7 т. Все новшества направлены на восстановление позиций железных дорог на рынке перевозок.

Работая над улучшением конструкций грузовых вагонов, железнодорожное отделение компании «National Castings» (NACO) применило тележку с люлочным подвешиванием для повышения устойчивости и ограничения поперечных сил при движении с высокой скоростью. Эти тележки «Trinity» использовало под крытыми вагонами для перевозки бумаги, построенными для железной дороги «Georgia Central». Легкие рамы и поперечные балки из композитных материалов применяет компания «Standard Car Truck».

«Trinity» сконцентрировало усилия на создании вагона из композитных материалов. Оно подготовило к выпуску вагон-рефрижератор и вагон с регулируемой температурой; оба вагона имеют композитный кузов той же прочности, что и стальной, но с массой на 20 % меньшей. К февралю 1999 г. рассчитывали ввести в эксплуатацию 50 вагонов с композитными кузовами (большинство из них – в западных штатах), в следующие месяцы выпуск таких вагонов предполагали увеличить.

Вместе с тем многие компании скептически относятся к композитным материалам. По их мнению, необходимо еще много работать, чтобы доказать прочность вагонов из таких материалов, их безопасность и надежность.

Заметны достижения в конструкции вагонов для перевозки легковых автомобилей. В сочлененном вагоне «Auto-Max» совместной разработки «Greenbrier» и «Gunderson» возможно размещение спортивных автомобилей в три яруса. Перевозки таких автомобилей представляют перспективный и растущий сектор рынка продаж.

В число перспективных разработок входят четырехосные вагоны массой брутто до 143 т, что на 10 % больше обычно допустимой (130 т). Некоторые вагоностроительные фирмы выпустили небольшое число таких вагонов, которые используются в основном на углевозных маршрутах. На увеличение доли таких вагонов в рабочем парке, так же, как и изготовленных из композитных материалов или оснащенных тормозными системами с электронным управлением, потребуются многие годы, что связано с разработкой соответствующей нормативной базы по их использованию в связи с повышенными нагрузками на подрельсовое основание и мосты.

Тенденция к уменьшению длины грузовых вагонов прослеживается достаточно явно и является весьма выгодной для железных дорог. Так, поезд из 97 вагонов вместимостью 147 м³ имеет такую же общую длину, что и поезд из 90 вагонов вместимостью 146 м³, и это дает дополнительные 7 % провозной способности.

Вопросу увеличения провозной способности, т. е. возможности перевозки большего объема грузов тем же числом поездов, сначала стали уделять особое внимание в перевозках угля, где впервые появились вагоны массой брутто 130 т относительно малой длины и без свесов за тележками, и уже отсюда этот опыт распространился и на вагоны-хопперы.

«TrinityRail», как и другие вагоностроительные компании, предлагает целый типоряд крытых хопперов малой, средней и большой вместимости, включая хопперы вместимостью 91,4 и 159 м³, предназначенные для пневматической (с подачей в кузов сжатого воздуха) разгрузки сыпучих грузов, вместимостью 176 м³ – для перевозки гранулированных грузов и 174 м³ – для перевозки зерна. Последние отличаются наличием сквозной центральной хребтовой балки и массой брутто, равной 130 т. В настоящее время на железных дорогах США эксплуатируются более 27 тыс. таких вагонов.

Крытые хопперы типа T6350 такой же вместимости с центральной хребтовой балкой выпускает корпорация «American RailCar Industries» (ARI). Они рассчитаны на перевозку DDG и других сыпучих грузов, обладающих повышенной текучестью. Вагоны-хопперы этого и других типов разной вместимости, например 92,6 м³ – для перевозки цемента или 147 м³ – для перевозки зерна, сахара и иных легкотекучих грузов, могут изготавливаться по желанию заказчиков с разным числом загрузочных и разгрузочных люков.

Еще одна группа изделий ARI – крытые хопперы семейства «Pressureaide». Эти хопперы рассчитаны на пневматическую разгрузку и от-

личаются отсутствием внутри кузова каких-либо конструктивных деталей, что предотвращает налипание сыпучего груза и ускоряет его выгрузку. Благодаря этому они оптимальны для перевозки таких грузов, как мука, крахмал и им подобных.

Представителем этого семейства является хоппер типа «CF5650ON» вместимостью 160 м³, в настоящее время, как и хоппер типа T6350, проходящий испытания на железных дорогах. Подобно коллегам из США, широкую гамму крытых хопперов разного назначения предлагает канадская компания «National Steel Car» (NSC). Среди ее изделий данного профиля можно упомянуть хопперы вместимостью 91,1 м³ для перевозки цемента, 121 м³ – для перевозки поташа, 146 и 150 м³ – для перевозки зерна, 177 и 181 м³ – для перевозки гранулированных грузов и 180 м³ – для перевозки DDG.

Две новые технологии на железных дорогах Северной Америки – пневматического торможения с электронным управлением (ЕСР) и системы управления движением поездов «Positive Train Control» (PTC), получившие распространение в последние два десятилетия, в настоящее время достигли такой степени развития, что могут радикально изменить характер эксплуатационной деятельности грузовых железных дорог Северной Америки. Обе технологии кардинально отличаются от традиционно принятых в эксплуатационной практике железных дорог. В отношении их применения в 2007 г. отмечен существенный прогресс, обусловленный, с одной стороны, поддержкой Федеральной железнодорожной администрации (FRA) и, с другой, что более существенно, активностью компаний-поставщиков и пользователей – железных дорог первого класса, которые реализуют программы развития и тестирования технических средств. Обе технологии предлагают существенно более высокий уровень безопасности по сравнению с применяющимися ныне, обе полнее используют собственный потенциал при совместном применении. И обе требуют миллиардных инвестиций в долгосрочной перспективе для внедрения в масштабе отрасли.

Систему ЕСР можно рассматривать как наиболее существенное изменение техники торможения со времени появления в конце XIX в. пневматических тормозов, поскольку в ней электронные сигналы, а не изменение давления воздуха в тормозной магистрали приводят в действие воздухораспределители на каждом вагоне поезда. В системе ЕСР по-прежнему остаются традиционные тормозные цилиндры, рычажная передача и тормозные колодки, воздействующие на поверхность катания колес, но тормозная магистраль используется только для питания запасных резервуаров вагонов. Давление сжатого воздуха в цилиндрах регулируется непосредственно через управляемую компьютером сеть.

Преимущества перехода на систему ЕСР:

- уменьшается длина тормозного пути (теоретически на 50 %), что допускает движение с меньшими межпоездными интервалами (в зависимости от применяемой системы сигнализации и длины блок-участков);
- значительно уменьшаются продольные силы в составе поезда (сжимающие и растягивающие);
- сокращается износ колес и тормозных колодок;
- снижается расход топлива на тягу поездов;
- имеется возможность самодиагностики системы управления тормозами.

Все эти преимущества ведут к повышению пропускной способности линий при более полном обеспечении безопасности движения поездов и, следовательно, к улучшению финансового положения железных дорог.

На железнодорожном транспорте в принципе созданы бизнес-условия для перехода на подобные системы. Выполненное консультационной компанией «Booz Allen Hamilton» по заказу FRA исследование и разработанный план внедрения позволили начать подготовку законодательной базы для применения ЕСП в масштабах отрасли. В сентябре 2007 г. FRA предложила законодательный акт, допускающий обращение поездов, оснащенных ЕСП, на расстояния до 5600 км (это вдвое больше, чем в настоящее время) с меньшим числом остановок для рутинной проверки тормозов.

По оценке FRA, технология ЕСП может получить распространение в масштабах сети в ближайшие 10 лет, начиная с маршрутных углевозных поездов, вагоны которых не участвуют в междорожном обмене, затем перейти к маршрутным поездам, перевозящим другие массовые грузы, затем к поездам, осуществляющим перевозки контейнеров и полуприцепов, и в конечном итоге охватить весь парк вагонов, входящих в североамериканский пул, насчитывающий 1,3 млн ед., на который распространяются правила и условия обмена вагонами между железными дорогами США и Канады.

Компании «New York Air Brake» (NYAB) и «Wabtec Railway Electronics» занимают лидирующие позиции как поставщики оборудования для ЕСП, тесно сотрудничая в разработках совместимых в эксплуатации систем. Компания «Zeftron» со своей стороны предлагает несколько отличающуюся, но вместе с тем эксплуатационно совместимую систему. Требование эксплуатационной совместимости является абсолютно необходимым, так как ЕСП будет распространяться на весь вагонный парк постепенно. Интересно отметить, что «NYAB» и «Wabtec» тестировали и доказывали эксплуатационную совместимость своих технологий за пределами Северной Америки, а именно в ЮАР, на тяжеловесных углевозных поездах компании «Spoornet».

В 2007 г. компания «Norfolk Southern» (NS) первой из железных дорог первого класса США ввела поезда, оборудованные ЕСП, в регулярную эксплуатацию: два 115-вагонных углевозных поезда обращаются на линиях

юго-востока штата Пенсильвания. Оборудование системы EP-60 производства «NYAB» установлено на входящих в составы поездов вагонах-хопперах постройки двух компаний – «FreightCar America» и «Trinity North American Freight Car» и на водящих эти поезда тепловозах серии ES40DC постройки «General Electric Transportation Systems» (GETS). NS планировала оснастить оборудованием ECP еще 210 новых вагонов-хопперов и 180 хопперов, подлежащих модернизации.

Железнодорожная компания «Burlington Northern Santa Fe» (BNSF) намеревалась последовать примеру NS, введя оснащенный ECP углевозный поезд в обращение на линии длиной 2400 км между местом добычи угля в долине реки Паудер и тепловой электростанцией компании «Southern» около Бирмингема (штат Алабама). «BNSF» уже установила оборудование системы EP-60 производства «NYAB» на 12 своих тепловозах серии SD70MAC постройки «Electro Motive Division» (EMD), а компания «Southern» оснастила 300 своих вагонов оборудованием системы ECP-4200 производства «Wabtec».

В последние годы в Северной Америке появились многочисленные проекты РТС. Общеизвестно, что ECP и РТС дополняют друг друга в аспектах безопасности и улучшения условий эксплуатации. На неосигнализованных территориях, например, РТС может быть использована для установления гибких режимов организации движения для грузовых поездов разных категорий, а ECP, гарантируя достаточную эффективность тормозных систем, может допустить движение с меньшими межпоездными интервалами, высвобождая тем самым пропускную способность.

Железные дороги Северной Америки все в большей степени полагаются на различные электронные системы и технологии передачи данных для реализации таких функций, как бортовой мониторинг технического состояния локомотивов и вагонов. Бортовые системы могут использовать каналы связи ECP для передачи данных на локомотив, откуда по каналам РТС они могут передаваться в головной центр управления движением, и все это в реальном времени. Таким образом, современные компьютерные и телекоммуникационные технологии предлагают практически неограниченные возможности для создания «интеллектуального» поезда, связанного с «интеллектуальным» же центром управления.

Система контроля скорости движения поездов Advanced Civil Speed Enforcement (Acse) используется в северо-восточном коридоре между Бостоном и Нью-Хейвеном и на высокоскоростных участках – южнее Нью-Йорка. Acse дополняет существующие системы локомотивной сигнализации и автоблокировки типа АТС, обеспечивая функциональность и безопасность при движении со скоростью до 240 км/ч.

Железная дорога «Alaska Railroad» произвела монтаж аппаратуры системы предотвращения столкновений поездов «Collision Avoidance» (CAS)

разработки «Union Switch & Signal». Эта система поддерживает жизненно важные функции, в том числе выдачу разрешений на движение и ограничение скорости в сочетании с системой непосредственного управления движением поездов Direct Traffic Control (DTC) на территориях, имеющих системы сигнализации и не имеющих их.

Оверлейная система управления движением поездов на базе радиосвязи Communication-Based Train Management (CBTM) разработки «Wabtec», в которой развиты не критичные для безопасности функции, используется железной дорогой «CSXT» на неосигнализованном участке длиной 204 км между городами Спартанберг (штат Южная Каролина) и Огаста (Джорджия), эксплуатируемом под непосредственным диспетчерским управлением. FRA согласовала продление зоны действия системы еще на 219 км, что позволит «CSXT» завершить разработку программного обеспечения для адаптации принципов «CBTM» к осигнализованным территориям.

Оверлейная электронная система управления движением поездов Electronic Train Management System (ETMS), которую «Wabtec» поставила железной дороге «BNSF», представляет собой технологию на базе упомянутой выше системы CBTM, охватывающую критические для безопасности движения функции и поддерживающую выдачу разрешений на движение и ограничений скорости для соответствующим образом оснащенных поездов, а также предупреждений о приближении поезда к месту проведения путевых работ. ETMS дополняет существующие методы эксплуатации, используя данные действующих сигналов и систем управления. «BNSF» получила согласие FRA на применение ETMS в версии 1 на 35 отделениях и совместно с FRA проводит испытания более продвинутой версии 2 на осигнализованных линиях общей длиной 480 км с высокой плотностью грузового и пассажирского движения в штатах Техас и Оклахома. Еще одна версия ETMS разрабатывается для пригородной железнодорожной сети Metra в регионе Чикаго.

Инкрементная система управления движением поездов Incremental Train Control System (ITCS) разработки «GETS» используется в рамках пилотного проекта на участке длиной 96 км линии Чикаго – Детройт, эксплуатируемой компанией железнодорожных пассажирских перевозок «Amtrak. ITCS», и контролирует жизненно важные для пассажирского движения функции, в том числе регулирование скорости движения поездов и выдачу на переезды оповещений о приближении поезда. Для передачи данных в системе «ITCS» используется радиосвязь, а не рельсовые цепи. В ходе совершенствования системы она была адаптирована к движению поездов со скоростью 177 км/ч вместо прежней 153 км/ч.

Неоверлейная система управления движением поездов Vital Train Management System (V-TMS) разработки «Wabtec» представляет собой вариант системы ETMS, используемой на «BNSF». Неоверлейная оптимизи-

рованная система управления движением поездов Optimised Train Control (OTC) разработки «Wabtec» также является одним из вариантов системы ETMS. Она функционально объединена с новой унифицированной системой Unified Traffic Control System (UTCS), поставленной железной дороге NS компанией «GETS», и образует, таким образом, полноценную систему PTC. NS начала опытную эксплуатацию системы на неосигнализированных линиях длиной 193 км в штате Южная Каролина.

Оверлейная система управления движением поездов Quantum Engineering's Train Sentinel охватывает критические с точки зрения безопасности функции. Она разработана на базе системы PTC, введенной в эксплуатацию на железной дороге Panama Canal.

AAR, FRA, Amtrak, железная дорога Union Pacific (UP) и министерство транспорта штата Иллинойс осуществляют совместную разработку проекта единой североамериканской системы управления движением поездов North American Joint Positive Train Control. Эти работы направлены на создание эксплуатационно-совместимой системы, соответствующей требованиям отраслевых стандартов и обеспечивающей безопасность при движении поездов со скоростью до 177 км/ч. Система рассчитана на применение в условиях смешанного грузового и пассажирского движения.

Кроме того, на новых вагонах используют такие разработки, как композиционные тормозные колодки, автосцепка, электронные тормоза, информационные системы и системы слежения с помощью спутниковой связи GPS, тележки с малым воздействием на рельсы, например, разработанные в Германии облегченные и малошумные тележки LEILA.

Современные тенденции в вагоностроении нашли отражение в специализированных вагонах, производимых фирмой «Greenbrier», которые пользуются спросом: двухосный вагон с раздвижными боковыми стенками; четырехосный вагон с раздвижными стенками; вагон для перевозки угля; специализированная цистерна для перевозки мелового шлама; крытый вагон для перевозки навалочных грузов; специализированный вагон для перевозки листового металла в рулонах и др. Следует также упомянуть специализированные вагоны для перевозки новых автомобилей и семейство современных контейнерных платформ. Именно этот подвижной состав в настоящее время востребован как отвечающий требованиям удобства обслуживания, крепления грузовых единиц, оптимизации вместимости и массы тары.

На протяжении 120-летнего существования железнодорожной индустрии компания «Нейшнл Кастинг» (НК) является лидером Ассоциации американских железных дорог (ААЖД) в разработке и производстве тележек для грузовых вагонов. В настоящее время, входя в состав крупнейшей в мире

сталелитейной корпорации «НАКО Инкорпорейтед», НК разрабатывает современные высокоскоростные тележки.

НАКО предлагает *три основных типа грузовых тележек*:

- 1) Супер CI, удовлетворяющая всем техническим требованиям ААЖД; тележка имеет отдельные боковые рамы и одинарное центральное подвешивание;
- 2) SMB с отдельными литыми боковыми рамами и центральным люлочным подвешиванием;
- 3) с жесткой рамой и первичным подвешиванием типа PSS, обеспечивающим радиальную установку колесных пар в кривых.

Компания «Poly Hi Solidwz» (США) изготавливает полимерное покрытие TIVAR 88-2 для внутренней поверхности крытых грузовых вагонов, облегчающее разгрузку перевозимых насыпных грузов. По оценкам крупной транспортной компании из штата Северная Дакота за счет применения покрытия TIVAR 88-2 достигнута годовая экономия эксплуатационных затрат более 150 млн дол. Это полимерное покрытие использовано компанией для окраски 50-вагонных грузовых поездов для перевозки бурых углей. Срок окупаемости капитальных затрат на приобретение покрытия TIVAR 88-2 не превышает трех лет при расчетном сроке службы 10 лет.

Благодаря предотвращению слипания увлажненных насыпных грузов, таких как металлические руды и бурый уголь, полимерное покрытие вагонов повышает эффективность их эксплуатации за счет: повышения провозной способности подвижного состава; экономии оплаты грузовых перевозок; экономии затрат на оплату рабочей силы, необходимой для разгрузки вагонов.

Экономия эксплуатационных-затрат при оснащении грузовых вагонов полимерным покрытием TIVAR 88-2 достигается за счет сокращения времени выгрузки насыпных грузов из одного вагона с 5–6 мин до 50–60 с, отказа от необходимости применения дополнительных устройств для выгрузки сцементированных насыпных грузов, таких как вибраторы, антифризные добавки, взрывные детонаторы. Благодаря этому увеличивается и срок службы вагонов. Полимерное покрытие TIVAR 88-2, изготавливаемое промышленными методами, имеет низкий коэффициент трения и малое сцепление с сыпучими грузами.

Грузовые вагоны с внутренним полимерным покрытием TIVAR 88-2 могут использоваться для перевозки бурых углей и продуктов их переработки, свинцовистых, медных и цинковых концентратов, известняков и других насыпных грузов. Полимерное покрытие может наноситься на кузов полувагонов и хопперов, изготовленных из стали или алюминиевых сплавов. Отдельные секции покрытия соединяются между собой посредством оплавления и стыкования кромок.

Компания «Johnstown America Corporation» (США) изготовила три новых модели грузовых вагонов облегченной конструкции из алюминиевых спла-

вов для перевозки угля. Вагон модели BethGon имеет собственную массу всего лишь 20,4 т. Грузоподъемность двухъярусного вагона этой модели – 115 т. Вагон-хоппер модели AutoFood H оснащен автоматически открывающимися разгрузочными дверцами типа MegaFio размером 1220 мм с регулированием скорости их раскрытия. Новые вагоны имеют большую грузоподъемность и позволяют экономить потребные энергозатраты. Собственная масса двухъярусного вагона уменьшена на 18,6 т.

Отрасль железнодорожного транспорта представит важный рынок сбыта композиционных материалов в XXI веке, хотя для их широкого распространения необходимо преодолеть ряд затруднений. Этой проблеме посвящено исследование, проведенное Центром современных технологий на железнодорожном транспорте Великобритании (ARRC). Исследование выполнено посредством опроса специалистов с участием специализированных технических журналов «International Railway Journal» и «Reinforced Plastics».

По данным ARRC, в будущем имеются хорошие перспективы применения композиционных материалов на железнодорожном транспорте, которые в ряде областей могут составить конкуренцию металлам. Тем не менее расширение сферы применения композиционных материалов сдерживается определенной инертностью мышления у части железнодорожных специалистов, недостаточным объемом информации и результатов испытаний и опытных работ с этими материалами. Сообщается о достаточно распространенной практике применения в вагоностроении таких композиционных материалов, как упрочненные стекловолокном пластмассы (GRP), используемые в качестве декоративных отделочных материалов и для неотчетственных конструкций. В последнее время применяются композиционные материалы на основе углеродных волокон и тканей. Использование таких синтетических материалов, упрочненных углеродными волокнами, пока еще ограничено их высокой стоимостью и малой прочностью на сжатие.

Хорошие ходовые характеристики грузовых вагонов важны, поскольку без них невозможно обеспечить сохранность перевозимых грузов, уменьшить повреждаемость механической части подвижного состава и верхнего строения пути, особенно в условиях высоких осевых нагрузок. Плавность хода приобретает решающее значение при перевозке чувствительных к повреждениям грузов, например легковых автомобилей. Компании – изготовители вагонов для таких перевозок – работают в тесном контакте с железными дорогами и с Центром транспортных технологий в Пуэбло, штат Колорадо (США, ТТС), завершившим сложную программу испытаний перспективной системы рессорного подвешивания для грузовых вагонов этого назначения.

Испытательная программа ТТС охватывала тележки улучшенной конструкции компаний «ABC-NACO», «Buckeye Steel Castings», «GG&W Technologies» и «Krupp», ходовые характеристики которых доказали при-

менимость предложенных систем рессорного подвешивания для вагонов эксплуатируемого парка, предназначенных для перевозки легковых автомобилей в два яруса. Испытания выполнялись совместно с компанией «ТТХ» как часть программы Ассоциации американских железных дорог (AAR) «Перспективная конструкция тележки грузового вагона». На следующем этапе в ТТС предусматривались исследования ходовых характеристик вагонов для массовых навалочных грузов.

Предохранение от повреждений требуется при перевозке и других грузов, таких, как рулоны листовой стали, используемой для изготовления кузовов автомобилей. При транспортировке сталь необходимо защищать от изгибов, забоин и вмятин, которые могут повредить технологическое оборудование автомобилестроительных заводов. Аналогичные требования к защите предъявляют при перевозке рулонов газетной бумаги. Поэтому вагоны для листовой стали и бумаги в рулонах должны быть крытыми и иметь улучшенные ходовые характеристики. Система рессорного подвешивания должна, в частности, обеспечить сопротивляемость перекашиванию тележек. Недостаточно высокая жесткость тележек создает проблемы, связанные с уширением колеи, набеганием колес на наружный рельс в кривых и чрезмерно высоким износом гребня и поверхности катания колес. Исследования по этим проблемам, начатые после крушений двухъярусных вагонов с пониженным уровнем центральной части грузовой площадки, проводились некоторыми компаниями-операторами, функционирующими на западе США, в начале 1990-х годов. Еще одним фактором беспокоейства является влияние тележек, вызываемое главным образом износом колес и рельсов. Оно приводит к дальнейшему ускорению износа конструктивных элементов тележек и повреждениям кузова, а также может быть причиной схода вагонов с рельсов при движении с высокой скоростью.

Основные компании-изготовители «ABC-NACO», «American Steel Foundries», «Buckeye, Standard Car Truck» предлагают тележки улучшенной конструкции, обладающие меньшей склонностью к скручиванию рамы и лучшими характеристиками вписывания в кривые, в том числе при высоких осевых нагрузках, как, например, у вагонов массой брутто 130 т. Поставляются также комплекты усовершенствованных узлов и деталей для эксплуатируемых тележек – подобранных для конкретных применений боковых опор, фрикционных клиньев и амортизаторов, обеспечивающих хорошие динамические характеристики и повышенные устойчивость и плавность хода.

Боковые опоры кузова на тележки должны обеспечивать разумный компромисс между сопротивлением повороту тележки в кривых, с одной стороны, и сопротивлением вилянию, с другой. При преобладании прямых и более высокой скорости движения особое значение имеет повышенное сопротивление повороту тележки, что подразумевает меньшую склонность к вилянию, поэтому здесь наиболее целесообразны боковые опоры с

постоянным контактом, создающие большее трение и, следовательно, повышающие сопротивляемость вилянию. На линиях с большим числом кривых и меньшей скоростью движения требуются меньшее сопротивление повороту тележки и лучшее вписывание в кривые; в этом случае подходят роликовые боковые опоры, обеспечивающие меньшее трение и облегчающие движение в кривых. Естественно, найти универсальное решение практически невозможно, и в поисках «золотой середины» следует ориентироваться на местные условия эксплуатации.

Действенным способом устранения вредных перемещений тележек считается установка гидравлических амортизаторов. Для ограничения поперечных перемещений, уменьшения виляния тележки и износа колес гасители виляния можно ставить на тележки как обычные трехэлементные, так и улучшенные. Гидравлические стабилизаторы (гасители вертикальных колебаний) полезны для смягчения воздействия колес на рельсы при неудовлетворительной динамике вагона, обуславливающего повышенные силы в контакте колесо – рельс.

Проблема улучшения продольных ходовых характеристик остается не полностью решенной. Концевые поглощающие устройства, первоначально применявшиеся только для минимизации ударных сил при сцеплении вагонов, теперь широко используются для ограничения продольных растягивающих и сжимающих сил в поезде в процессе движения. В течение нескольких последних лет специально созданная группа AAR (CDTF) разработала два новых стандарта на поглощающие устройства для грузовых вагонов, поскольку признано, что устройств данного назначения, разработанных на основе только одной конструктивной концепции, недостаточно. Это технические условия M-921 D-96 для вагонов для перевозки легковых автомобилей и M-921 B-97 – для вагонов других типов. В настоящее время большинство концевых поглощающих устройств получает при сборке предварительное нагружение, иначе называемое пассивным натягом. Такие предварительно нагруженные поглощающие устройства применяются, в частности, на вагонах Atuo-Max компании «Gunderson» в комбинации с тележками Swing Motion компании «ABC-NACO».

Группа CDTF, работающая совместно с Комитетом изготовителей поглощающих устройств, вскоре, по-видимому, выпустит новый стандарт M-921E по так называемому активному натягу поглощающих устройств. Активный натяг является развитием метода предварительного нагружения и обеспечивает лучшую защиту от сил растяжения и сжатия. После прекращения действия сжимающих сил поглощающее устройство возвращается в нейтральное положение и готово к восприятию возможной тяговой ударной нагрузки. Несколько компаний-изготовителей уже испытывают поглощающие устройства с активным натягом.

Многосекционные вагоны. Принцип эксплуатации постоянно сцепленных вагонов впервые реализован в 1950-х годах. Быстро выяснилось, что неисправность одного вагона становится причиной вывода из эксплуатации всего сцепа. Совершенствование методов технического обслуживания послужило возрождению концепции многосекционных вагонов. Многосекционный вагон гораздо легче и дешевле благодаря замене сцепок и буферов безззорными устройствами и размещению тележек под узлами сочленения. Пятисекционные вагоны компании «Trinity Industries» используются для перевозок контейнеров и автомобильных полуприцепов.

Скелетные контейнерные вагоны. Многие железные дороги используют стандартные вагоны-платформы грузоподъемностью примерно 50 т, приспособленные для перевозок любых грузов. Однако при перевозке контейнера длиной 12,2 м и массой 37 т они неэффективны. Стандартный морской контейнер имеет грузоподъемность, сравнимую с грузовым автомобилем, но перевозка на обычном вагоне-платформе обходится слишком дорого. Для платформы скелетного типа достаточно хребтовой балки и тележек. В современных условиях при высокой допустимой осевой нагрузке достаточно двух осей. На платформе массой 11,3 т можно перевозить один контейнер длиной 12,2 м или два длиной 6,1 м.

Вагоны для перевозки контейнеров в два яруса. Погрузка контейнеров в два яруса позволила кардинально повысить экономичность грузовых перевозок, снизив стоимость вагонов-платформ на 60 % и эксплуатационные затраты – по крайней мере, на 40 %. Максимизировать системные преимущества нового подхода позволили пятисекционные сочлененные вагоны. Для реализации на практике данного подхода железным дорогам необходимо было допустить повышение осевой нагрузки до 36 т, хотя такая нагрузка возможна только в случае, когда четыре контейнера на соседних секциях вагона максимально загружены. Решить эту проблему можно, распределяя самые тяжелые контейнеры по длине поезда. В отличие от маршрутных поездов других типов не все оси данных поездов нагружены максимально, поэтому обычно они не создают особых проблем с точки зрения пути или мостов.

Крытые вагоны повышенной вместимости. Первоначально вагоны небольшого объема предназначались для перевозки мешков с зерном или аналогичных продуктов, загружаемых вручную. Двери с небольшим проемом были слабым местом такого вагона. Любой удар при маневровых операциях или при движении с большими зазорами в сцепных приборах мог повредить мешки с зерном. В современных условиях применение вилочных погрузчиков даже при увеличении дверного проема замедляет погрузку/разгрузку и увеличивает соответствующие расходы. Примерно 20 лет назад такие вагоны были признаны устаревшими, их заменяли контейнерами или вагонами специального назначения. В Северной Америке си-

туация изменилась. Увеличение габарита погрузки на направлениях перевозки контейнеров в два яруса способствовало росту экономичности перевозок в крытых вагонах повышенной вместимости. Лучший пример представляет крытый вагон для перевозки деталей легковых автомобилей с погрузочным объемом 300 м^3 , что в 4,5 раза больше, чем стандартного контейнера длиной 12,2 м.

Вагоны-цистерны. Первоначально вагон-цистерна представлял собой резервуар на платформе. В современных тележечных вагонах-цистернах применяют около 10 типов внутреннего покрытия котла для защиты продуктов в цистерне, разработаны многочисленные устройства безопасности, минимизирующие последствия при крушении.

Вагоны для бакалейных товаров. Железная дорога Milwaukee совместно с Ассоциацией американских железных дорог (AAR) изучала проблему сокращения объема упакованных продуктов, таких, как бакалейные товары и пиво. В вагоне установили видеокамеру. Съемка зафиксировала перемещения упаковок, причем иногда довольно значительные. По результатам этого исследования был построен вагон, названный в США «бакалейным». Он оснащен сцепными приборами с ударопоглощающим механизмом, имеющим увеличенный ход, и подвижными внутренними стенками. Для большинства продуктов были введены ограничения по массе независимо от объема упаковок. Чтобы защитить груз от повреждений, дополнительно между штабелями помещают наддувные мешки.

Рефрижераторы. В Северной Америке был период, когда решили отказаться от строительства новых рефрижераторных вагонов как дорогих, имевших ограниченную вместимость и в отличие от автомобиль-рефрижераторов не имевших устройств регулирования температурного режима во время рейса. Современные рефрижераторные вагоны полезным объемом 225 м^3 оснащены устройствами дистанционного контроля и регулирования температуры, а также точного определения местоположения.

Вагоны для стали в рулонах. Раньше рулоны стального листа грузили в полувагоны или на вагоны-платформы и там закрепляли. Внешняя сторона рулонов часто повреждалась. Наибольшую проблему представляло то, что размещение максимальной нагрузки допускалось только над тележками. В современных вагонах рулоны помещаются на специальные опоры на хребтовой балке.

Вагоны многоцелевого назначения. Интересный подход реализован в вагонах многоцелевого назначения, которые могут иметь скользящую крышу, передвигаемые перегородки, торцовые двери. Например, вагон, построенный «Talgo Transtech» для железных дорог Швеции, имеет регулируемый по высоте второй пол, что позволяет в одном направлении перевозить детали автомобилей, в обратном – готовые машины. Этот вагон состоит из двух постоянно сцепленных одноосных, что снижает его массу

тары. Однако коэффициент грузоподъемности этого вагона равен только 1,5, и его применение ограничено допустимой осевой нагрузкой и габаритами.

Эксплуатация специализированных грузовых вагонов является средством повышения доходов железных дорог и снижения транспортных издержек грузоотправителей. Основную конкуренцию железным дорогам в современных условиях составляют автомобильный и водный транспорт. Грузовые автомобили строят серийно, они не подвергаются действию продольных сил, как вагоны в поезде, имеют относительно простую конструкцию и небольшую массу, поэтому достаточно дешевы. Простота загрузки предопределяет интенсивное их использование, годовой пробег обычно достигает 400 тыс. км. Средний срок службы грузового автомобиля в развитых странах составляет около 4 лет, что способствует постоянному совершенствованию их конструкции и технологии производства.

Конкурентную способность железных дорог можно повысить за счет ряда технологий. Одну из наиболее эффективных возможностей представляет выбор для перевозок конкретных грузов имеющихся или вновь проектируемых вагонов с заданными характеристиками. Однако имеет место разное понимание необходимых изменений в конструкции грузовых вагонов. Иллюстрируют их следующие примеры.

Принцип стандартизации вагонов удобен тем, что вероятность загрузить универсальные вагоны в обратном рейсе гораздо выше. Некоторые железные дороги доводят долю груженого пробега до 80 % от общего. Однако такие железные дороги, утрачивая монопольное положение, теряют и долю на транспортном рынке.

Повышение осевой нагрузки. Самый важный фактор в вагоностроении – осевая нагрузка. Ее повышение с 22,5 до 30,5 т снижает затраты на перевозки на 40 %, причем благодаря модернизации технологий текущего содержания можно снизить и расходы на путь. Имеет значение не только конструкция вагона, но и коэффициент грузоподъемности (отношение грузоподъемности к массе тары). Чем выше этот коэффициент, тем экономически эффективнее используется вагон. В результате реализации такого подхода коэффициент грузоподъемности повышен с 2,4 до 5,8.

Ограничения осевой нагрузки обычно обусловлены требованиями служб пути и искусственных сооружений. На практике же допустимая осевая нагрузка превышает ежедневно отдельными перегруженными вагонами или дефектными колесами с некруглостями и ползунами.

На ряде железных дорог мира действуют стандарты, введенные в действие с момента постройки первых линий: в Европе вагоны имеют стандартные буферные устройства; подвижной состав на железных дорогах

Индии отличается колесами большого диаметра и повышенной высотой сцепных устройств. Этот перечень можно продолжить. Такой подход оставляет мало шансов железным дорогам европейских стран на рынке. Конструкции используемых вагонов должны учитывать специфические потребности грузоотправителей. Так, в Северной Америке ранее эксплуатировали вагоны пяти основных конструкций, в настоящее время – их более 100.

Одним из требований стандартизации является условие обращения любого вагона на всей сети. Однако в некоторых случаях возможны определенные исключения. Например, на большинстве железных дорог имеются линии, где увеличенный габарит погрузки допускает пропуск специализированных вагонов. В Европе вагоны с грузами некоторых родов допустимы к обращению только на линиях определенной категории. В Индии недавно разрешены перевозки контейнеров на пятисекционных вагонах-платформах с колесами меньшего диаметра.

Затраты на вагоны могут достигать примерно 20 % общих расходов на перевозки. Однако европейские вагоны в силу их специализации на 50–150 % дороже на единицу грузоподъемности, чем североамериканские. В качестве иллюстрации можно привести пример замены буферов центральной автосцепкой, что не только снижает массу тары, но и уменьшает стоимость вагона примерно на 4000 дол. США. Специализация вагонов способствует росту доли порожнего пробега. Универсальные вагоны при использовании современных методов управления могут иметь долю груженого пробега на уровне 65 %, а в некоторых случаях – и 80 %. Кроме того, при улучшении коэффициента грузоподъемности расходы, приходящиеся на порожний пробег, сокращаются.

В настоящее время в Северной Америке средний железнодорожный тариф примерно в 2 раза ниже, чем 20 лет назад. Доля железных дорог в грузообороте всех видов транспорта увеличилась до 40 % в значительной степени благодаря использованию специализированных вагонов.

Вагоны-хопперы для угля. Многие железные дороги продолжают перевозить уголь в универсальных полувагонах. Двери в боковых стенках допускают загрузку и разгрузку вручную. Коэффициент грузоподъемности таких вагонов равен обычно 2,4.

Конкурентная среда вынуждает железные дороги считаться с десятками долями цента в тарифе – это лучший стимул к модернизации конструкции вагона. На смену стандартным полувагонам пришли хопперы с донной разгрузкой, которые имеют увеличенную грузоподъемность и обеспечивают сокращение расходов на выгрузку. Следующим усовершенствованием стала модернизация хопперов для разгрузки в роторных вагоноопрокидывателях, что позволяет повысить полезную грузоподъемность при сокращении расходов. Последним новшеством являются хопперы с алюми-

ниевыми кузовами, что позволило при осевой нагрузке 32,5 т увеличить коэффициент тары до 5,8. Вагон Coalporter компании «Johnstown America» имеет два бункера по обе стороны хребтовой балки для увеличения вместимости и снижения центра тяжести.

Вагоны-платформы с центральной балкой. Такие грузы, как лес и пиломатериалы, грузят на платформы с помощью погрузчиков с боковой стороны. Чтобы предотвратить изгиб хребтовой балки, необходимо усиливать раму и концевые элементы с соответствующим увеличением массы вагона. Конструкция вагона-платформы компании «Gunderson» отличается простотой и меньшей массой. Вагон при длине между торцовыми стенками 22 м имеет грузоподъемность 100 т.

Вагоны-хопперы для цемента. Перевозка цемента по железной дороге затруднена по многим причинам. Учитывая значительную массу этого груза, цементные заводы обычно строят недалеко от основных потребителей. Небольшое расстояние перевозки до мест потребления делает доставку цемента по железной дороге экономически невыгодной. Вагоны часто служат как склад на колесах, что не способствует высокой эффективности их использования. К тому же характеристики цемента таковы, что вагоны имеют короткий срок службы, обычно от 10 до 15 лет. Это вызывает необходимость в вагоне простой конструкции, но недорогом в исполнении. В вагоне компании «Greenbrier» для перевозки цемента кузов используется как элемент конструкции вагона, устраняющий необходимость в хребтовой балке.

Хопперы и цистерны для перевозки грузов под давлением. Во многих случаях вагон становится частью производственной линии с подачей продукта в жидком или порошковом виде прямо из вагона в обрабатывающий узел. Для этих целей разработаны вагоны-хопперы и цистерны с регулируемым давлением, где груз находится под избыточным давлением до одной атмосферы и при разгрузке просто вытекает из буфера в производственное оборудование. Обычно вагоны этого типа находят применение в пищевой промышленности и при производстве пластмасс, обеспечивают экономию расходов.

В Европе к числу новых разработок компании «Alstom Transport» (Франция) относится вагон типа «Habbins 14» с раздвижными боковыми стенками, предназначенный для перевозки крупногабаритных грузов, требующих защиты от атмосферных осадков. У вагона увеличена погрузочная площадь и оптимизировано поперечное сечение кузова. Каждая боковая стенка состоит из двух секций, изготовленных из алюминиевого сплава. При полном сдвигании одной из секций открывается свободный доступ к половине погрузочной площади. При использовании грузоподъемности осевая нагрузка вагона «Habbins 14» составляет 23,5 т.

Компания «K Industrier» (Швеция) разработала для железной дороги Green Cargo двухсекционный вагон типа «Hiqqrts-ww», который оборудован электромеханической системой подъема боковых стенок вагона целиком. При этом грузовая площадка открывается полностью. Общая длина вагона составляет 30 м, длина погрузочной площадки каждой секции – 13,4 м, ширина – 2,92 м, высота пола над уровнем головки рельса – 1078 мм, внутренняя погрузочная высота – 3 м. При грузоподъемности 67 т максимальная осевая нагрузка не превышает 250 кН, максимальная скорость – 100 км/ч. Вагон «Hiqqrts-ww» предназначается для перевозки хрупких грузов и бумаги.

Широкое использование новых специализированных вагонов видно на примере работы одной из крупнейших железнодорожных компаний Германии – «Railion Deutschland». Грузы горно-металлургической промышленности являются одними из основных для этой железной дороги. Для перевозки сыпучих грузов этой промышленности используется подвижной состав большой грузоподъемности – секция, состоящая из двух шестиосных вагонов «Fairts 152 и 153», соединенных короткой сцепкой. На этих секциях с осевой нагрузкой до 245 кН перевозится железная руда из Гамбурга и Росток для компании «EKO-Stahl» (Германия) в Айзенхтенштадте в поездах массой до 5400 т со скоростью 80 км/ч.

Четырехосные платформы «Rbns 646», увеличенной длины и оборудованные вертикальными стойками и крепежными приспособлениями, используются для перевозки стального проката, труб и балок. Четырехосные крытые вагоны типа «Shimmns-ttu 723» обеспечивают сохранную перевозку стального листа в рулонах. Эти вагоны оборудованы надежным в эксплуатации и простым в обслуживании сдвижным тентом, погрузочными лотками с резиновыми ковриками для защиты поверхности рулонов от повреждений и специальными регулируемыми устройствами для фиксации в боковых направлениях.

Для перевозки леса используются четырехосные платформы «Roost 645», разработанные на базе стандартной четырехосной платформы. На них установлены две высокие и прочные торцевые стенки, а вдоль бортов расположены карманы, куда вставляются стойки для удержания груза.

Для перевозки автомобилей компания «Railion Deutschland» обладает в настоящее время самым современным и разнообразным подвижным составом – для автомобилей обычного и повышенного классов. Для перевозки автомобилей обычного класса используются двухосные большегрузные вагоны «Hbbinstt 309» с раздвижными боковыми стенками и трехосные двухъярусные вагоны «Laes 559». Погрузочные уровни вагонов «Laes 559» устанавливаются в 10 различных положениях, обеспечивая оптимальное использование имеющегося габарита и гибкость применения при перевозке автомобилей разных размеров.

Большегрузная секция с раздвижными боковыми стенками («Automotive Maxx») серии «Himms-tt 326» составлена из двух вагонов «Hbins-tt 309», соединенных жесткой сцепкой. Четырехвагонная закрытая секция «Heccers 330» сконструирована специально для компании «Daimler-Chrysler» и оборудована гидравлическим приводом для смещения крыши (при загрузке), торцевыми дверями и освещением. Такая секция обеспечивает сохранную доставку автомобилей непосредственно с завода заказчику.

Компания «Railion Deutschland» эксплуатирует модернизированную платформу «Sdgkms 707» для перевозки контейнеров. Эта модификация имеет обозначение «Sgkkms 698» и используется для перевозки сменных кузовов. Технология использования таких кузовов, имеющих много общего с контейнерами, широко используется в международных грузовых перевозках в странах Северной Америки и Европы. Эта технология предусматривает механизированную перегрузку сменных кузовов с вагона на вагон, а также на автомобильный транспорт и площадки грузовых дворов. Применение сменных кузовов позволяет значительно сократить простой вагонов под погрузочно-разгрузочными операциями и расширить номенклатуру грузов, перевозимых на одних и тех же вагонах-платформах.

Основой формирования системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов на ЩД ФРГ является промышленный стандарт DIN31051 «Текущее содержание. Термины и методы». Согласно DIN 31051 текущее содержание вагонов включает техническое обслуживание, технический осмотр и ремонт. Критерием установления сроков между видами и объемом текущего содержания, последовательностью их выполнения является «запас изнашивания». Для нового вагона он принимается равным 100, а с течением времени в результате эксплуатации уменьшается. Каждый узел вагона и вагон в целом имеют свою кривую изнашиваемости. Установлено, что для одних узлов она зависит от времени эксплуатации, для других – от эксплуатационных нагрузок. Текущее содержание вагонов осуществляется по плано-предупредительной системе и направлено на недопущение снижения запаса изнашиваемости до нуля. Критерием межремонтных сроков и объемов ремонтов выступает минимум затрат на текущее содержание. На ГЖД ФРГ сроки между периодическими ремонтами устанавливаются в зависимости от интенсивности эксплуатации вагонов. Категорию ремонта условно обозначают буквами и цифрами. Буква определяет тип подвижного состава (например, R – пассажирские вагоны, Gг – грузовые вагоны), а цифра – объем выполняемых работ. В таблице 1.2 приведены данные о характеристике различных видов ремонта в ФРГ.

Таблица 1.2 – Характеристика видов ремонта на ГЖД ФРГ

Место ремонта	Категория ремонта и ее обозначение	Периодичность ремонта	Характеристика и объем ремонта
Вагонное депо	G1, срочный (внеплановый)	По потребности, определяемой техническим состоянием	Выполнение работ для обеспечения безопасности эксплуатации вагонов в поездах и сохранности перевозимых грузов: осмотр с целью выявления имеющихся дефектов, ревизия тормозов. Норма простоя в ремонте – 3–5 ч, максимально – 15 ч.
	G2, периодический	Через 4–6 месяцев для вагонов со специальным оборудованием	Периодичность проведения – между двумя ремонтами G4. Норма простоя в ремонте – 3–5 ч
Вагоноремонтный завод (PЗ)	G3, текущий внеплановый	По потребности, определяемой техническим состоянием вагона	Выполняются те же работы, что и при G1, а также устранение неисправностей после аварии или последствий интенсивного износа. Норма простоя на ремонте – 15–40 ч
PЗ	G4, основной	Установленный правилами срок – 6 лет, на практике – 4–5 лет	Выполняются как плановые, так и внеплановые работы. К первым относятся осмотр и, при необходимости, ремонт важнейших по условиям эксплуатации и изнашивающихся деталей (ходовые части, ударно-тяговые приборы, тормоза и т. д.), ко вторым – ремонт, по необходимости, кузова, погрузочных устройств, восстановление окраски и т. д. Норма простоя в ремонте – 40–80 ч
	G4, основной ремонт	Для вагонов, эксплуатируемых со скоростью 120 км/ч, при пробеге более 80000 км/год – через 1 год, в остальных случаях – через 2 года	
	G5, капитальный ремонт (ревизия)	После выполнения ремонта G4	Выполняются работы, предусмотренные категорией G4 в объеме капитального ремонта вагона в целом с полной окраской. Норма простоя в ремонте – 200–700 ч

В вагонных депо выполняются внеплановые виды обслуживания и ремонта. Как правило, они располагаются на сортировочных станциях. В настоящее время на ГЖД ФРГ наблюдается тенденция концентрации работ в немногих, но крупных, хорошо механизированных вагонных депо. Предполагается уменьшить количество депо почти на 40 %. Совершенствуется система по учету расходов на содержание вагонов.

На Б р и т а н с к и х ж е л е з н ы х д о р о г а х (ЕВД) применяется плановая система ремонта грузовых вагонов. Она предусматривает выполнение периодического генерального, промежуточного и текущего ремонтов. Периодический генеральный (через каждые 6–9 лет) и промежуточный (через каждые 3 года) ремонты выполняются на вагоноремонтных заводах, которые не специализированы на ремонте какого-то определенного типа вагонов; на них же производится и постройка всего парка новых грузовых вагонов. При выполнении генерального ремонта вагон практически полностью

Промежуточный ремонт предусматривает восстановление изношенных и поврежденных деревянных деталей, замену колесных пар, букс, рессор и других узлов, а также незначительный ремонт рамы.

На ЕВД существует и другой подход к системе ремонта некоторых типов грузовых вагонов (например, рефрижераторных, платформ для перевозки автомобилей, вагонов маршрутных поездов, принадлежащих частным фирмам), основанный на учете пробега между ремонтами. Текущий ремонт производится в вагонных депо и специальных центрах обслуживания грузовых вагонов.

Крупнейшая в Великобритании частная фирма по техническому содержанию и ремонту вагонов «Рейл Кар Сервисиэ» (РКС) предложила ЕВД форму услуг по контрактам. Фирма в дополнение к своим трем ремонтным мастерским создала 35 пунктов технического обслуживания на местах. Эти пункты предназначены для выполнения технических осмотров вагонов в интервале между рейсами. Цель такого осмотра – предотвратить аварийные ситуации, которые могут возникнуть в связи с техническим состоянием вагонов. Кроме того, вагоны один раз в 2 месяца подаются в мастерские для их технического обслуживания. Предусматривается также ежегодное полное освидетельствование тормозной системы. Специалисты дают заключение, что применение такой системы обслуживания и ремонта вагонов позволило дорогам несколько улучшить показатели их использования.

На **железных дорогах Японии** ремонт вагонов осуществляется по планово-предупредительной системе. Отличительной особенностью данной системы является то, что межремонтные периоды здесь меньше, чем на железных дорогах других стран. Общий осмотр, выполняемый на вагоноремонтных заводах, проводится через 1–4 года с простоем в ремонте 2,2 дня. Частный ремонт проводится в условиях депо через 8 месяцев, периодический осмотр – через 35–55 дней, осмотр поезда – через 16 ч. Для выполнения текущего содержания вагонов существует 74 депо.

Усилия специалистов Японских железных дорог направлены на увеличение межремонтных пробегов за счет совершенствования конструкции вагонов, системы ремонта и периодических осмотров.

Разработанная в Японии система контроля за подвижным составом предназначена для определения состояния подвижного состава в течение всего срока службы. Эта система включает в себя пять подсистем: учета и отчетности; распределения рабочей силы всего предприятия с целью ком-

пенсации суточного отклонения в объеме работ; материально-технического снабжения; оптимизации использования оборудования; проверки подвижного состава, составления графиков ремонта и планирования производственных операций по ремонту.

Структура и развитие парка грузовых вагонов в условиях рыночной экономики обусловлены общими тенденциями по сокращению времени доставки грузов и повышению их сохранности при минимуме эксплуатационных затрат, жесткой конкуренцией между железнодорожным и другими видами транспорта.

Общими задачами по дальнейшему развитию конструкций грузовых вагонов всех типов являются: повышение погонной нагрузки вагона; увеличение грузоподъемности вагона; снижение коэффициента тары за счет более прогрессивных конструктивных и использования более прочных и коррозионностойких сталей и алюминиевых сплавов; улучшение эксплуатационных качеств вагонов, технологичности конструкций и повышение надежности работы вагонов в эксплуатации.

Точное определение технических требований к разрабатываемым и модернизируемым вагонам является главным в повышении потенциала парков грузовых вагонов (таблица 1.3).

Т а б л и ц а 1.3 – Основные технические требования к грузовым вагонам нового поколения

Наименование узла (детали) вагона	Показатель надежности	Численное значение показателя
Вагон (в целом)	Гамма-процентный (90 %) срок службы Средняя частота отказов в год	32 года 0,3
Тележка	Гамма-процентный (90 %) срок службы	32 года
Узлы трения (пятниковый узел, фрикционный узел, опорные поверхности буксового узла)		8 лет
Колесо		12 лет
Ось		32 года
Кассетный подшипник	Долговечность Межремонтный пробег при вероятности 0,9	8 лет 1,5 млн км
Прессовая посадка колесо – ось	Прочность прессового соединения	На весь срок службы колес на оси
Боковая рама и надрессорная балка	Гамма-процентный (95 %) срок службы Предел текучести, Н/мм ²	32 года >380
Пружины подвешивания	Гамма-процентный (90 %) срок службы	32 года
Тормозные приборы		4 года
Рама кузова, обшива		32 года
Автосцепка	Безремонтный пробег при вероятности 0,95	8 лет
Поглощающий аппарат	Гамма-процентный (90 %) срок службы	16 лет

Оптимальный вагон должен иметь минимальные затраты на техническое обслуживание, которые учитываются в общих затратах жизненного цикла и включают все расходы, начиная от инвестиций в разработку и изготовление и заканчивая затратами на утилизацию. С точки зрения оптимизации затрат на техническое обслуживание следует рассматривать два направления:

- снижение трудоемкости технического обслуживания вагона и его отдельных узлов за счет повышения функциональной пригодности, снижения износа, увеличения эксплуатационной готовности;
- уменьшение затрат за счет внедрения новых методов ремонта, позволяющих экономить материалы и время.

Практические примеры оптимизации конструкции вагонов в перевозки сыпучих грузов – создание в **России** бункерных вагонов моделей 19-187 и 19-193 (ПО «Уралвагонзавод») для перевозки минеральных удобрений и импортных вагонов-хопперов моделей «Facsns-133» и «Tannos-896».

Функциональность вагонов для перевозки сыпучих грузов определяется требованиями максимального облегчения работ при погрузке и разгрузке, что обеспечивается простотой элементов управления этими процессами и удобством пользования ими. Конфигурация и расположение бункеров определяется технической базой приемных устройств в местах разгрузки.

Одним из основных недостатков существующих бункерных вагонов является неудовлетворительная работа системы разгрузки с выходом из строя реечных и червячных механизмов, болтовых соединений, пневмоцилиндров и уплотнений разгрузочных люков.

На вагонах моделей 19-187 с четырьмя поперечными разгрузочными бункерами и 19-193 с шестью продольными бункерами используется оригинальный механизм открытия люков с ручным управлением. Гравитационный метод разгрузки обеспечивает самооткрывание крышки люка при снятии двух стопорных устройств (мертвая точка рычажного привода и стопорный рычаг). Для облегчения работоспособности и упрощения ручного привода крышки разгрузочных люков соединены классическим способом – рычагами на центральный приводной вал попарно. В механизме не предусмотрено применения резьбовых соединений, шлифованных поверхностей, пневматических устройств и других сложных приспособлений.

Открытый вагон-хоппер модели «Facsns-133», предназначенный для перевозки песка, гальки и щебня, имеет боковую разгрузку. Кузов вагона полностью выполнен из нержавеющей хромистой стали, что исключает коррозию с последующим налипанием разгрузочного материала на стенки бункера. Вместо шести отдельных бункеров на вагоне установлены три спаренных, что упростило обслуживание вагона. Рост размеров шибберных задвижек в сочетании с увеличенным до 48° углом наклона стенок бункеров улучшило режим разгрузки. Использование нержавеющей стали значительно снизило усилия закрытия и открытия задвижек и повысило долговечность узла уплотнения.

Вагон-хоппер модели «Tannos-896» с откидывающейся крышей и центральной разгрузкой разработан для перевозки калийных и других минеральных удобрений. Из-за высокой химической активности этих грузов вагон подвергается интенсивному коррозионному воздействию. Антикоррозионная защита, реализованная на этом вагоне, предусматривает защитное покрытие толщиной 250–500 мк на внутренних стенках кузова и использование нержавеющей стали в зонах уплотнения задвижек и откидной крыши, на верхней стороне задвижек и на втулках и валиках опорных узлов управления задвижками и крышей. Применение комбинированной технологии с нанесением защитного слоя и использованием нержавеющей стали способствует повышению срока службы вагонов «Tannos-896».

Приводы управления имеют закрытое исполнение. В несущей опоре задвижки люка установлен безззорный и неизнашиваемый шарнир, благодаря которому качество уплотнения между задвижкой и окантовкой люка остается неизменным при длительной эксплуатации. Таким образом, все элементы механизма управления вагона «Tannos-896» отвечают концепции использования необслуживаемых узлов и деталей.

В 2005 г. ПО «Уралвагонзавод» разработал перспективную *модель вагона-хоппера с новой конструкцией кузова*. Раздвижная конструкция крышек загрузочного люка выполняет функции крыши хоппера и образует загрузочный проем размером 9000×722 мм. Крышки загрузочного люка, выполненные из гнутого листа с поперечными ребрами жесткости, охватывают горловину, образуя зазор по всему периметру, что обеспечивает выравнивание давления внутри корпуса при разгрузке. В транспортном положении крышки загрузочного люка закрыты герметично. Открывание, закрывание и пломбировка загрузочного люка осуществляется при помощи рычажного механизма, установленного на переходной площадке, что исключает нахождение оператора на крыше вагона и позволяет отказаться от трапов на крыше.

В ПО «Уралвагонзавод» разрабатываются четырехосные полувагоны нового поколения. При этом применяются два основных типа кузова: универсальные – с торцевыми, открывающимися внутрь вагона, дверями и загрузочными люками в полу; специальные – с глухим кузовом для перевозки только сыпучих грузов с разгрузкой на вагоноопрокидывателях.

При разработке нового *универсального полувагона модели 12-196* грузоподъемностью 73,5 т значительное внимание было уделено повышению его эксплуатационной надежности. В конструкцию полувагона были внесены следующие усовершенствования: модернизированная схема нанесения сварных швов в шкворневом узле и применение новых материалов позволили повысить его усталостную прочность на 13 %; использование упругокатковых скользунгов существенно уменьшает перевалку кузова на пятнике и увеличивает его долговечность; в целях уменьшения повреждений стоек боковой стены использованы стойки швеллерообразной конструкции; для

уменьшения повреждений обшивки боковой стены, в том числе усталостных при воздействии накладных вибраторов, использована плоская обшивка с исключением подгибок и контактно-точечной сварки, что позволило увеличить ресурс гладкой обшивки в 3,21 раза по сравнению с обшивкой из периодического проката и улучшить условия высыпания груза; разработана новая конструкция штампованного пятника с увеличением ресурса в 2,04 раза по сравнению с серийной; за счет рационального расположения поясов и оптимального подбора профилей увеличена прочность торцевой стены на 70 %.

Специализированный полувагон модели 12-197 грузоподъемностью 74,5 т, предназначенный для разгрузки на вагоноопрокидывателе, существенно отличается от большинства подобных конструкций, использованных ранее. Отличительной особенностью полувагона является наличие наклона боковых и торцевых стен, скругленные сопряжения боковых стен и пола, гладкая обшивка боковых и торцевых стен. В полувагоне усилена верхняя обвязка боковых стен, а стойки боковых стен имеют переменное по высоте сечение и шпангоутную заделку, что обеспечивает равнонагруженность конструкции и повышенный запас прочности.

В качестве ходовых частей в полувагонах используются двухосные тележки модели 18-578 с нагрузкой от оси на рельсы 245 кН и конструкционной скоростью 120 км/ч. На базе полувагонов моделей 12-196 и 12-197 разработаны перспективные универсальные полувагоны (модель 12-196-01) и с глухим кузовом (модель 12-197-02). Перспективные полувагоны имеют уменьшенную на 1,5 т массу тары и увеличенную грузоподъемность до 75 и 76 т соответственно.

У всех полувагонов нового поколения увеличены срок службы с 22 до 32 лет, срок службы до первого капитального ремонта – с 13 до 16 лет, минимальный межремонтный пробег – с 400 до 500 тыс. км.

Основные технические характеристики полувагонов нового поколения приведены в таблице 1.4.

Т а б л и ц а 1.4 – Основные технические характеристики полувагонов нового поколения производства ПО «Уралвагонзавод»

Показатель	Модель полувагона			
	12-196	12-197	12-196-01	12-197-02
Грузоподъемность, т	73,5	74,5	75	76
Масса тары, т	26	25	24,5	23,5
Объем кузова, м ³	96	91,7	88	90
База вагона, мм	8650	8650	8650	8650
Длина вагона, мм	13920	13920	13920	13920
Осевая нагрузка, кН	245	245	245	245

В 2005 г. ПО «Уралвагонзавод» завершил создание типоразмерного ряда 4-осных вагонов-цистерн моделей 15-195, 15-565, 15-566 для перевозки

нефтепродуктов. Применение современных методов проектирования позволило в короткие сроки создать новые вагоны-цистерны, рационально сочетающие в себе улучшение технико-экономических показателей и одновременное повышение эксплуатационной надежности цистерн и безопасности перевозок грузов.

Новые вагоны-цистерны имеют безрамную конструкцию, в которой котел используется в качестве несущего элемента, воспринимающего как вертикальные, так и продольные нагрузки. Расчетная оценка напряженно-деформированного состояния элементов вагонов-цистерн была проведена с использованием программного комплекса ANSYS, который является одним из лидирующих мировых систем конечно-элементного анализа.

Расчетная схема вагона-цистерны представляет собой пространственную систему. Листы котла, накладки котла и опорные лампы моделировались восьмью узловыми элементами оболочкового типа с шестью степенями свободы в каждом узле. Листы шкворневой, концевой, хребтовой и боковой балок моделировались 4-узловыми элементами оболочкового типа с шестью степенями свободы в каждом узле. Приварка накладок и опор к котлу, опорных лап к полурамам моделировалось с помощью математических связей, при этом перемещения от котла на полурамы передавались только в радиальном направлении. Расчетная схема вагона-цистерны для перевозки темных нефтепродуктов насчитывала порядка 110 000 узлов и 62 000 элементов.

Кроме безрамной конструкции, в вагонах-цистернах применен целый ряд новых технологических решений, направленных на улучшение их потребительских свойств, повышение эксплуатационной надежности и безопасности перевозок: котлы цистерн выполнены с ломаной осью и стыком посередине, что обеспечивает полный слив продукта и исключает трещины по штампованному сливному уклону; цистерны для перевозки светлых нефтепродуктов и бензина оборудованы новым сливным прибором, который представляет собой три последовательно установленных запорных устройства; в целях повышения экологической безопасности котлы оборудованы новой крышкой люка-лаза, обеспечивающей герметичность котла при давлении не менее 0,3 МПа и имеющей усилие открывания около 98 Н; для дополнительной защиты днища котла при сверхнормативных нагрузках разработан новый защитный экран; цистерны для перевозки вязких нефтепродуктов оборудованы простой и надежной в эксплуатации системой разогрева камерного типа с увеличенной на 25 % площадью обогрева; в вагоне-цистерне для перевозки бензина объем котла увеличен до 100 м³.

В качестве ходовых частей используются тележки модели 18-578 с конструкционной скоростью 120 км/ч и осевой нагрузкой 245 кН. Вагоны оборудованы системой раздельного потележечного торможения с использованием воздухораспределителя 483А-01, авторежимного устройства 265А-3 (265А-4) и тормозных цилиндров со встроенным автоматическим регулято-

ром величины хода штока поршня. В качестве ударно-тяговых устройств в вагонах использованы перспективные автосцепные устройства УВЗ-ВНИИЖТ с автосцепкой СА-4 и эластомерными поглощающими аппаратами АПЭ-95-УВЗ. Технические характеристики вагонов-цистерн приведены в таблице 1.5.

В последние годы на крупнейших железных дорогах России, Северной Америки и Европы отмечена тенденция обновления парка грузовых вагонов за счет ввода в эксплуатацию специализированных вагонов, предназначенных для перевозки грузов горно-металлургической, лесной, химической и автомобильной промышленности. Новый подвижной состав используется для замены менее эффективных универсальных вагонов старой конструкции и способствует удовлетворению требований заказчика на новом уровне и с большей эффективностью, чем при смешанных перевозках. Таким образом, создание подвижного состава, разрабатываемого в соответствии с требованиями заказчика и предназначенного для грузов, перевозимых только по железным дорогам, оказывается экономически выгодным (в таблице 1.5 приведены характеристики вагонов-цистерн).

Таблица 1.5 – Основные технические характеристики вагонов-цистерн

Показатель	Модель вагона-цистерны		
	15-195	15-565	15-566
Грузоподъемность, т	72	72	71
Масса тары, т	27,5	23,3	28,5
Объем котла, м ³	85,8	75	100
База вагона, мм	7800	7800	9130
Длина вагона, мм	12 020	12 020	14 400
Осевая нагрузка, кН	245	245	245
Срок службы, лет	32	32	32
Срок службы до капитального ремонта, лет	16	16	16

Наиболее сопоставимыми с железными дорогами России по объему и дальности перевозок являются США. Однако следует учитывать существенные особенности: в США средняя грузонапряженность в 6–7 раз меньше, а среднее количество погрузок на один вагон в 3–4 раза меньше, чем в России.

ПО «Уралвагонзавод» разработал *6-осный саморазгружающийся вагон-самосвал (думпка)* модели 33-180 для горнорудных и металлургических предприятий. Вагоны выпускаются в двух модификациях: грузоподъемностью 90 т на тележках модели 18-522 с осевой нагрузкой 245 кН и грузоподъемностью 105 т с осевой нагрузкой 264,6 кН. В вагонах установлены шарниры борта новой конструкции, позволяющие снизить износ и деформацию элементов вагона в жестких эксплуатационных режимах.

Полувагон модели 12-146 со съёмной 2-секционной крышей предназначен для перевозки грузов, нуждающихся в защите от атмосферных осадков.

Новый полувагон создан на базе серийного полувагона модели 12-132. Конструктивными отличиями являются наличие в верхних обвязках боковых стен отверстий для установки ограничителей перемещения полукрыш в вертикальном направлении, а на вертикальных стенках – фиксаторов ограничителей. Крыша выполнена с уклоном 7° , загрузка полувагона может проводиться со снятыми полукрышами или через загрузочные люки полукрыш. Разгрузка вагона производится через люки в полу или грейферами. Такие вагоны приобретаются небольшими партиями (до 150 штук) операторами-перевозчиками комовой и гранулированной серы.

По заказу предприятий Северо-Западного региона России ПО «Уралвагонзавод» создан *вагон-платформа модели 13-198 для перевозки лесоматериалов* длиной 3, 4, 6 и 12 м общим объемом 100 м^3 . С целью ограничения продольного перемещения лесоматериалов вагон оснащен съёмными торцевыми стенками и жестко зафиксированными к раме стойками переменного сечения. К полу вагона крепятся гребенки высотой 50, 100 либо 150 мм в зависимости от требований заказчика.

Для перевозки концентрированной серной кислоты создана цистерна модели 15-157 с диаметром котла 2200 мм, который изготовлен из стали СтЗсп5.

По заказу ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» и ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» созданы две модели специализированных платформ: 13-165 – для перевозки горячих блюмов с допускаемыми осевыми нагрузками 318 и 245 кН; 23-585 – для перевозки горячекатаной квадратной заготовки грузоподъемностью 70 т с допускаемой осевой нагрузкой 245 кН.

Наиболее динамично развивающийся сектор железнодорожных перевозок – транспортировка контейнеров. В России стабильный рост объемов контейнерных перевозок наблюдается с 1995 г. Если в 1997 г. в контейнерах перевозилось 7,2 млн т грузов, то в 2005 г. – уже 20,8 млн т, прогнозируется увеличение объемов перевозок.

Вагоностроительные заводы России и Украины, проанализировав потребности рынка, уже разработали и поставили на производство ряд моделей платформ с погрузочной длиной 24,4 м. В начале 2006 г. АО «Крюковский вагоностроительный завод» начал выпуск *платформы модели 13-7024, предназначенной для перевозки двух контейнеров длиной 12 м или четырех длиной по 6 м*. Грузоподъемность вагона – 71,5 т, масса тары – 22 т. В основных элементах рамы использована сталь с повышенным классом прочности. Длина вагона по осям сцепления автосцепок – 25,62 м, база – 18,5 м.

Кемеровский филиал ОАО «Алтайвагон» поставил на производство платформу длиной 25 м модели 13-2118 *для перевозки крупнотоннажных контейнеров*. Грузоподъемность вагона – 70 т, масса тары – 24 т. ОАО «Рухимаш» с 2005 г. выпускает платформу модели 13-1281 грузоподъемностью 69 т, массой тары 25 т. Рама платформы, изготовленная с использо-

ванием катаных профилей и сварных конструкций, сочетает высокую жесткость и прочность с низкой трудоемкостью изготовления. Многофункциональная платформа разработана совместно ОАО «Абаканвагонмаш» и Московским государственным университетом путей сообщения для перевозки контейнеров и труб большого диаметра. Принципиально новая схема несущей рамы позволяет существенно снизить прогиб длинномерной платформы. ОАО «БМЗ» разработана платформа модели 13-3124 для перевозки двух контейнеров длиной по 12 м с погрузкой в два яруса. Грузоподъемность платформы – 73 т, масса тары – 27 т. Несущая рама в средней части выполнена с пониженным уровнем пола и оборудована несущими бортами. Длина вагона по осям сцепления автосцепок – 20,22 м, база – 16 м.

Для повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта при перевозке пищевых продуктов во ВНИИЖТе разработана и изготовлена опытная партия *российских крупнотоннажных рефрижераторных и изотермических контейнеров*

1.3 Вагонный парк Республики Беларусь и задачи вагонного хозяйства

Таблица 1.6 – Парк грузовых вагонов собственности предприятий Республики Беларусь на 01.01.2014

Тип вагона	Владелец	Всего вагонов	Срок службы, лет					
			средний	1–10	11–20	21–30	31–40	более 40
Крытые	Железная дорога	159848	20,0	32536	35306	79694	12180	132
	Частная компания	17325	21,8	74	10483	5413	1354	1
Крытые вагоны-хопперы	Железная дорога	162653	19,8	40667	41141	52436	27571	838
	Частная компания	249881	14,5	107882	66940	55508	19142	409
Открытые вагоны-хопперы	Железная дорога	116004	22,2	17056	26699	53104	16208	2937
	Частная компания	54526	14,6	23854	11881	15724	2859	208
Полувагоны	Железная дорога	144880	18,1	51139	26830	44924	20330	1657
	Частная компания	71511	13,0	35082	20588	13117	2450	274
Платформы	Железная дорога	48986	15,9	18946	9591	12762	7237	450
	Частная компания	113322	14,2	58781	18913	18236	17232	160

Окончание таблицы 1.6

Тип вагона	Владелец	Всего вагонов	Срок службы, лет					
			средний	1–10	11–20	21–30	31–40	более 40
Рефрижераторы	Железная дорога	30218	23,2	4954	2894	17538	4832	0
	Частная компания	2843	22,6	539	285	1403	616	0
Цистерны	Железная дорога	846	28,7	30	201	281	163	171
	Частная компания	237045	16,3	85623	63367	64709	23079	267
Прочие	Железная дорога	6274	28,4	4	1411	2442	1576	841
	Частная компания	2484	20,3	520	559	1073	291	41
<i>ВСЕГО</i>	Железная дорога	669709	19,8	165332	144073	263181	90097	7026

Задачей вагонного хозяйства является содержание инвентарного парка грузовых и пассажирских вагонов в технически исправном состоянии, которое достигается за счет выполнения программы ремонта грузовых вагонов, повышения надежности вагонов путем проводимой модернизации, технического обслуживания вагонов в эксплуатации и обновления вагонного парка.

Поддержание грузовых вагонов в рабочем состоянии обеспечивается принятой на Белорусской железной дороге системой технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении.

В 2013 году вагонными депо было отремонтировано 10474 вагона инвентарного парка Белорусской железной дороги, или 104,1 % к плану, в том числе деповским ремонтом – 9188 (104,5 %), капитальным – 1286 (101,4 %).

В нашей стране кроме вагонов инвентарного парка Белорусской железной дороги имеются вагоны разных типов собственности различных предприятий республики, которые проходят ремонт в этих же вагонных депо. Так, в 2013 году вагонными депо отремонтировано 4479 вагонов собственности предприятий Республики Беларусь, в том числе деповским ремонтом – 4093, капитальным – 386, и в результате получено доходов на сумму 106,1 млрд руб., расходы составили 76,1 млрд руб., рентабельность – 24,2 %.

Данные работы способствуют сокращению расходов на проведение ремонта вагонов за счет уменьшения затрат на приобретение запасных частей и материалов, увеличению пробега до следующего планового вида ремонта при безусловном обеспечении их безопасной эксплуатации.

Одной из важнейших задач вагонного хозяйства является надежная работа вагонов в эксплуатации, своевременное выявление и устранение их неисправностей. **Основными причинами отказов вагонов в эксплуатации являются дефекты поверхности катания колесных пар и неустойчивая работа автотормозного оборудования.**

Белорусской железной дорогой проводится работа по внедрению в вагонном хозяйстве диагностического оборудования для выявления неисправностей в процессе эксплуатации грузовых вагонов.

В соответствии с Государственной программой развития железнодорожного транспорта Республики Беларусь приобретены и установлены комплексы технических средств многофункциональных (КТСМ-02). Указанное оборудование в составе автоматизированной системы контроля подвижного состава позволяет в режиме реального времени отслеживать техническое состояние ходовых частей грузовых вагонов и полностью вывести из эксплуатации на Белорусской железной дороге устаревшие дистанционно-информационные системы контроля (ДИСК).

С целью улучшения качества технического обслуживания вагонов в составах поездов своего формирования в части своевременного выявления и устранения неисправностей автотормозного оборудования, а также сокращения времени на проведение опробования тормозов от поездного локомотива на 15 мин пункты технического обслуживания вагонных депо оснащены 18 устройствами зарядки и опробования тормозов (УЗОТ- РМ). Внедрение на Белорусской железной дороге данных устройств позволило снизить количество задержек поездов в пути следования.

Введены в опытную эксплуатацию автоматизированные диагностические системы контроля дефектов поверхности катания колесных пар «LASCA» на участках Молодечно – Уша, Хлусово – п/п Городнянский, Крынки – Заболотинка. Данное оборудование позволит значительно повысить выявляемость дефектов поверхности катания колесных пар и не допустить проследование по инфраструктуре Белорусской железной дороги неисправных вагонов, а также исключить возврат неисправных вагонов с соседних дорог.

Для снижения расходов на ремонт вагонов и их износа Белорусской железной дорогой постоянно проводится работа по обновлению подвижного состава.

На 55-м заседании Комиссии Совета по железнодорожному транспорту полномочных специалистов вагонного хозяйства железнодорожных администраций принято решение о вводе запрета с 01.01.2014 на курсирование в

межгосударственном сообщении грузовых вагонов с истекшим сроком службы. Эксплуатация грузовых вагонов с истекшим сроком службы допускается только после проведения работ по продлению срока их службы в соответствии с действующим *Положением о продлении срока службы грузовых вагонов, курсирующих в международном сообщении.*

Уже в ноябре-декабре 2013 г. Минским, Брестским, Витебским и Полоцким вагонными депо при проведении плановых видов ремонта была организована работа по продлению срока службы грузовых вагонов и, на основании выданных технических решений, продлен срок службы 174 вагонов.

Основными задачами вагонного хозяйства Беларуси являются:

1 Выполнение в полном объеме плановых видов ремонта грузовых вагонов Белорусской железной дороги и предприятий Республики Беларусь.

2 Модернизация грузовых вагонов при проведении плановых видов ремонта.

3 Максимальное задействование производственных мощностей вагонных депо для ремонта вагонов собственности нерезидентов Республики Беларусь.

4 Обеспечение выпуска из плановых видов ремонта грузовых вагонов инвентарного парка дороги, длительно простаивающих из-за нехватки крупногабаритного вагонного литья и колесных пар, восполняя дефицит зачастей за счет исключения вагонов из инвентарного парка.

5 Дооснащение вагонных депо современным оборудованием, позволяющим осуществлять диагностику, ремонт и восстановление узлов и деталей грузовых вагонов.

6 Приобретение новых грузовых вагонов с улучшенными техническими и потребительскими характеристиками, оснащенными узлами и деталями повышенной прочности и надежности.

1.4 Эксплуатация и техническое обслуживание вагонов грузового парка железных дорог

1.4.1 Характеристика и учет вагонного парка, отчетность о наличии, состоянии и использовании грузовых вагонов

Особенностями вагонного парка являются различие вагонов по конструкции, времени эксплуатации и техническому ресурсу, а для грузовых вагонов – повсеместное их обращение по сети дорог без приписки к определенным пунктам.

Различают инвентарный и наличный парки грузовых вагонов. **Инвентарный парк** образуют грузовые вагоны, приписанные к данной дороге. Количественно этот парк изменяется после приписки новых вагонов, ис-

ключения старых из инвентаря по техническому состоянию или вследствие их передачи другим организациям или дорогам.

Объектом наблюдения в эксплуатационной статистике является **наличный парк** подвижного состава – число вагонов, которыми располагают на отчетный момент или за отчетный период Белорусская железная дорога и ее предприятия, независимо к какой дороге они приписаны. Структура наличного грузового парка вагонов приведена на рисунке 1.1.

Единицей наблюдения служит физический вагон. Физическая единица наблюдения выступает, как правило, и в качестве единицы измерения совокупности парка вагонов.

Для оперативного управления и организации перевозки грузов, регулирования вагонными парками, их использования по прямому назначению на Белорусской железной дороге организуется номерной учет вагонов грузового парка. Основным содержанием учета вагонов грузового парка является определение их наличия и дислокации по роду, принадлежности, состоянию, использованию.

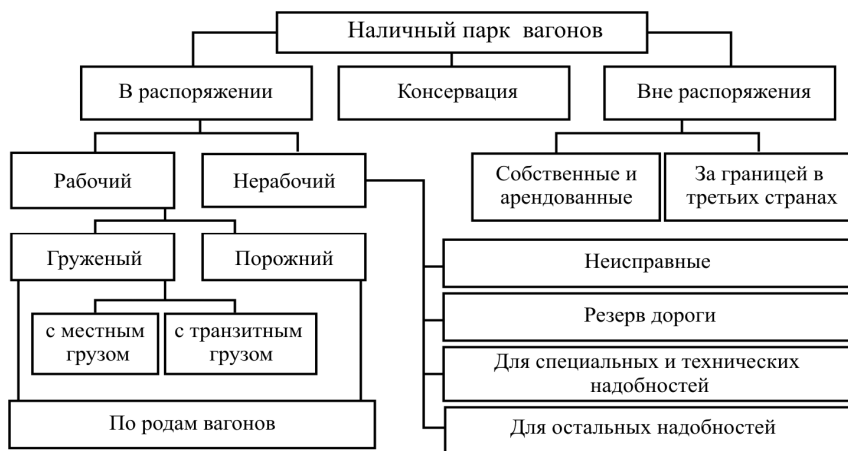


Рисунок 1.1 – Структура грузового парка вагонов

Наличие вагонов грузового парка на Белорусской железной дороге определяется ежесуточно по состоянию на отчетный час – 17-00 часов местного времени. Порядок учета общего наличия вагонов грузового парка установлен «Инструкцией о порядке учета наличия, состояния и использования вагонов грузового парка», утвержденной приказом начальника дороги.

Первичный учет наличия вагонов грузового парка производится на всех станциях и отдельных пунктах (при нахождении на них вагонов), на которых в связи с этим осуществляется:

– ведение журнала движения поездов и локомотивов формы ДУ-2 или ДУ-3, балансового журнала вагонооборота станции формы ДУ-4, составление натуральных листов на поезда формы ДУ-1 и других документов первичного учета;

– списывание или проверка с натуры вагонов всех поездов по прибытию или отправлению, а также списывание с натуры вагонов, отцепленных и прицепленных к поездам или одиночно следующим локомотивам;

– списывание вагонов грузового парка, поступающих с железнодорожных подъездных путей и путей, по условиям эксплуатации приравненных к подъездным путям, и вагонов, возвращаемых на эти пути, независимо от принадлежности вагонов и подъездных путей.

Общее наличие вагонов грузового парка определяется как сумма всех вагонов, подлежащих учету, находящихся в пределах Белорусской железной дороги на местах общего пользования, подъездных путях, железных дорогах «третьей» страны (например, на железных дорогах Республики Польша) по колею 1520 мм и переставленных на колею 1435 мм, для станции, отделения дороги, дороги в целом по общему количеству, роду вагонов, их состоянию, использованию и принадлежности к железнодорожной администрации. Оно может изменяться в сторону увеличения за счет:

– приема вагонов по колею 1520 мм от железных дорог других государств в бесперегрузочном сообщении;

– поступления от заводов вагонов новой постройки с заводским номером после их перенумерования;

– для отделений дороги – приема вагонов от соседних отделений Белорусской железной дороги;

– для станций – приема вагонов от соседних станций Белорусской железной дороги.

Общее наличие вагонов грузового парка на дороге может изменяться и в сторону уменьшения за счет:

– сдачи вагонов по колею 1520 мм на железные дороги других государств в бесперегрузочном сообщении;

– исключения вагонов из инвентаря по техническому состоянию и при передаче вагонов организациям для технологических нужд;

– для отделений дороги – сдачи на соседние отделения Белорусской железной дороги;

– для станций – отправления вагонов на соседние станции Белорусской железной дороги.

Учет перехода грузовых поездов, вагонов грузового парка и контейнеров между Белорусской железной дорогой и соседними железными дорогами других государств, железной дорогой «третьей» страны и между отделениями Белорусской железной дороги ведется номерным

ями Белорусской железной дороги ведется номерным автоматизированным способом по общему количеству, роду вагонов с распределением на грузовые, порожние, нерабочий парк. Переход вагонов учитывается по времени фактического прибытия, проследования или отправления поездов с МГСП (межгосударственный стыковой пункт), МГЭСП (межгосударственный экспортный стыковой пункт).

Основными учетными признаками статистики наличия вагонов являются: их конструкция (род); состояние; использование и принадлежность.

Вагоны грузового инвентарного парка Белорусской железной дороги и других железнодорожных администраций, а также собственные грузовые вагоны в соответствии с восьмизначным номером подразделяют по роду: на крытые; платформы; полувагоны; цистерны (с выделением цистерн инвентарного парка железных дорог); рефрижераторные; прочие (с выделением цементовозов, окатышевозов, зерновозов, фитинговых платформ, минераловозов).

Распределение вагонов по родам подвижного состава осуществляется в соответствии с действующими *системами нумерации*. Для нумерации вагонов используют единую восьмизначную систему. Каждая цифра номера содержит определенную информацию о вагоне, что является удобным для организации технической эксплуатации вагонов. В номере грузовых вагонов первый знак означает тип вагона: 2 – крытый; 4 – платформа; 5 – вагоны – собственность промышленных предприятий; 6 – полувагон; 7 – цистерны общего назначения; 8 – изотермические; 3 и 9 – прочие. К прочим, номер которых начинается с цифры 3, относят все шестисосные вагоны, хопперы-дозаторы, саморазгружающиеся вагоны (думпкары), служебные вагоны рефрижераторных секций. К числу прочих, номер которых начинается с цифры 9, относят большую группу типов вагонов: хопперы и цистерны для перевозки цемента; крытые хопперы-зерновозы; крытые хопперы-минераловозы; хопперы для перевозки агломерата, окатышей; крытые для перевозки легких грузов; крытые для скота; платформы для контейнеров, платформы для автомобилей; цистерны для сжатых и сжиженных газов и т. д. Второй знак содержит основную характеристику вагона, в частности конкретный тип или модель вагона в группе прочих. Третий знак – дополнительная характеристика вагона. Четвертый, пятый и шестой знаки – порядковый номер. Седьмой знак служит для обозначения номера вагона. При этом цифры 0–8 используются для нумерации без переходной площадки, а 9 – с переходной площадкой. Восьмой знак – контрольный. Для проверки правильности считывания и передачи номера по каналам связи с обработкой на ЭВМ по восьмому знаку используют специальные алгоритмы.

Изменения и дополнения системы нумерации вагонов инвентарного парка и системы нумерации собственных грузовых вагонов отражаются в ре-

жиме реального времени в АСОУП (автоматизированная система оперативного управления перевозками).

По состоянию грузовые вагоны подразделяются на рабочий парк (груженые и порожние) и нерабочий парк.

По характеру использования различают вагоны для перевозки грузов и не для перевозки грузов (служебно-технические вагоны рефрижераторных поездов и секций, караульные и др.).

По принадлежности к железнодорожной администрации вагонный парк подразделяют в соответствии с кодом администраций. После раздела вагонного парка между странами СНГ железные дороги этих стран получили числовые и мнемокоды (таблица 1.7).

Т а б л и ц а 1.7 – Числовые коды дорог

Государство	Коды дорог		Государство	Коды дорог	
	числовой	мнемонический		числовой	мнемонический
Россия	20	РЖД	Грузия	28	ГР
Беларусь	21	БЧ	Узбекистан	29	САЗ
Украина	22	УЗ	Азербайджан	57	АЗ
Молдова	23	ЧФМ	Армения	58	АРМ
Литва	24	ЛГ	Кыргызстан	59	КРГ
Латвия	25	ЛДЗ	Таджикистан	66	ТДЖ
Эстония	26	ЭВР	Туркменистан	67	ТПК
Казахстан	27	КЗХ			

Н а л и ч н ы й п а р к в а г о н о в (см. рисунок 1.4) подразделяется на парк вагонов в распоряжении дороги, вне распоряжения дороги и на консервации.

В распоряжении дороги находятся вагоны:

- грузового инвентарного парка Белорусской железной дороги и других железнодорожных администраций, имеющие восьмизначную нумерацию и находящиеся на путях общего пользования станции и на подъездных путях независимо от их принадлежности;

- собственные грузовые на путях общего пользования станций. К ним относят, в соответствии с «Правилами эксплуатации и пономерного учета собственных грузовых вагонов», утвержденными на XXIX заседании Совета по железнодорожному транспорту, вагоны грузового парка любых форм собственности, имеющие восьмизначную нумерацию на цифру «5». Вагоны, не зарегистрированные в центральной картотеке грузовых вагонов, учитывают за балансом как «груз на своих осях»;

- арендованные, находящиеся на путях общего пользования станций и на подъездных путях, не принадлежащих арендатору вагонов, и на путях, не арендованных арендатором вагонов. В соответствии с Тарифным руководством в число арендованных вагонов грузового парка на Белорусской же-

ством в число арендованных вагонов грузового парка на Белорусской железной дороге включают вагоны: инвентарного парка Белорусской железной дороги, сданные железной дорогой в аренду юридическому или физическому лицу (арендатору); инвентарного парка железной дороги другого государства (железнодорожной администрации), сданные в аренду, при наличии согласования курсирования по Белорусской железной дороге. Вагоны, сданные в аренду другой железнодорожной администрацией, но не имеющие согласованного курсирования по Белорусской железной дороге, используются и учитываются на общих основаниях как вагоны инвентарного парка. Арендованным вагонам присваивается признак «аренда внутренняя» или «аренда внешняя» в случаях: если арендованные вагоны находятся на путях общего пользования станций и на подъездных путях, не принадлежащих арендатору вагонов, или на путях, не арендованных арендатором вагонов, – «аренда внешняя»; если арендованные вагоны находятся на подъездных путях, принадлежащих арендатору вагонов, или на путях, арендованных арендатором вагонов, – «аренда внутренняя».

Парк вагонов в распоряжении дороги может измениться на дороге в сторону увеличения за счет:

- приема вагонов по колее 1520 мм от железных дорог других государств в бесперегрузочном сообщении;
- приема вагонов от железной дороги «третьей» страны по колее 1520 и 1435 мм;
- поступления от заводов вагонов новой постройки с заводским номером после их перенумерования;
- приема собственных грузовых вагонов с подъездных путей и в инвентарный парк;
- приема с подъездных путей арендованных вагонов с признаком «аренда внутренняя»;
- изъятия вагонов из запаса-консервации.

Парк вагонов в распоряжении дороги может измениться на дороге в сторону уменьшения за счет:

- сдачи вагонов по колее 1520 мм на железные дороги других государств в бесперегрузочном сообщении;
- сдачи вагонов на железную дорогу «третьей» страны по колее 1520 и 1435 мм;
- исключения вагонов из инвентаря по техническому состоянию и при передаче вагонов организациям для технологических нужд;
- передачи вагонов из инвентаря другому собственнику;
- сдачи собственных грузовых вагонов на подъездные пути;
- сдачи на подъездные пути арендованных вагонов с признаком «аренда внутренняя»;

- перечисления вагонов в запас-консервацию.

Парк вагонов в распоряжении дороги распределяют на рабочий и нерабочий (вагоны, изъятые из рабочего парка).

К *рабочему парку* относят исправные грузовые вагоны, предназначенные для перевозки грузов. Вагоны рабочего парка подразделяют на груженные и порожние. В числе *груженных* учитывают вагоны с загруженным грузом при наличии оформленных документов для перевозки по Белорусской железной дороге. Их подразделяют на вагоны:

- с местным грузом, следующие под выгрузку на Белорусскую железную дорогу, с выделением из них вагонов «под сортировку»;
- груженные, следующие назначением на железные дороги «третьей» страны с перегрузом в вагоны колеи 1435 мм или с перестановкой на колею 1435 мм и учитываемые как вагоны с местным грузом для Белорусской железной дороги и, соответственно, для Барановичского и Брестского отделений Белорусской железной дороги;
- с транзитным грузом, включая погруженные на Белорусской железной дороге (вывоз) и следующие за ее пределы.

Порядок учета погрузки и выгрузки вагонов установлен отдельной Инструкцией, утвержденной Начальником Белорусской железной дороги.

В числе *порожних* учитывают вагоны:

- исправные, в том числе находящиеся в пунктах их подготовки к перевозкам (под очисткой, промывкой, пропаркой, дезинфекцией, нейтрализацией);
- занятые для уборки и вывоза снега;
- находящиеся под оборудованием для людских и специальных перевозок.

Автоматизированный учет вагонов рабочего парка производится в режиме реального времени номерным способом на основе ввода в АСОУП соответствующих сообщений с кодами операций согласно «Классификатору операций с вагонами».

К *нерабочему парку* относят вагоны, изъятые из рабочего парка, и учитывают по группам:

- резерв дороги – исправные порожние грузовые вагоны инвентарного парка Белорусской железной дороги, предназначенные для перевозки массовых и сезонных грузов. Порядок автоматизированного учета вагонов резерва установлен Инструкцией, утвержденной приказом начальника железной дороги;
- неисправные – вагоны: не отвечающие требованиям Правил технической эксплуатации; непригодные по своему техническому состоянию для эксплуатации; не обеспечивающие сохранность перевозимых грузов; подлежащие ремонту с отцепкой от поезда или состава. Порядок учета неисправных вагонов установлен Инструкцией по учету наличия и ремонта неисправных вагонов, утвержденной приказом Начальника железной дороги;

– выделенные для специальных и технических надобностей – вагоны, которые разрешается использовать: в пожарных и восстановительных поездах; для врачебно-санитарных надобностей; под вагоны-лавки и хлебозавозки ОРС; для прикрытия вагонов с опасными грузами, под подъемные краны; для развозки по территории предприятия материалов (в том числе горюче-смазочных) и запасных частей; под передвижные мастерские отделений дороги; для перевозки балласта с баз зимнего хранения, а также из карьеров на строительные объекты Белорусской железной дороги (в том числе с разгрузкой на перегонах); для ликвидации последствий и предупреждения размывов и повреждений пути и искусственных сооружений в период паводка. Порядок автоматизированного учета вагонов, выделенных для специальных и технических надобностей, установлен Инструкцией, утвержденной начальником железной дороги;

– используемые для остальных надобностей – вагоны: инвентарного парка Белорусской железной дороги, выделенные для проведения испытаний отдельных узлов и деталей вагонов, а также используемые для перевозки личного состава воинских караулов; служебно-технические рефрижераторных поездов и секций инвентарного парка Белорусской железной дороги и других железнодорожных администраций; служебно-технические собственных рефрижераторных поездов и секций. Порядок автоматизированного учета вагонов для остальных надобностей установлен Инструкцией, утвержденной приказом начальника железной дороги.

Автоматизированный учет вагонов нерабочего парка производится в режиме реального времени номерным способом на основе ввода в АСОУП сообщений с соответствующим кодом операции с вагоном.

В парке вагонов *вне распоряжения дороги* учитывают вагоны:

– собственные грузовые с восьмизначным номером на цифру «5», находящиеся на подъездных путях независимо от принадлежности подъездных путей;

– арендованные с признаком «аренда внутренняя», находящиеся на подъездных путях;

– грузовые инвентарного парка Белорусской железной дороги и других железнодорожных администраций, собственные грузовые, арендованные, находящиеся за границей на железных дорогах «третьей» страны по колеям 1520 и 1435 мм.

Парк вагонов вне распоряжения дороги может изменяться в сторону увеличения за счет:

– сдачи на подъездные пути собственных грузовых и арендованных вагонов с признаком «аренда внутренняя»;

– сдачи вагонов «за границу» на железные дороги «третьей» страны по колеям 1520 и 1435 мм.

Парк вагонов вне распоряжения дороги может изменяться в сторону уменьшения за счет:

- приема с подъездных путей собственных грузовых и арендованных вагонов с признаком «аренда внутренняя»;
- приема вагонов «из-за границы» от железных дорог «третьей» страны по колее 1520 и 1435 мм.

Консервация создается при избытке конкретного рода вагонов на предъявляемые объемы перевозок грузов с целью сокращения расходов на содержание вагонов инвентарного парка Белорусской железной дороги. Порядок учета вагонов консервации установлен отдельной Инструкцией, утвержденной приказом начальника Белорусской железной дороги. Вагоны консервации учитываются в общем наличии вагонов грузового парка. Автоматизированный учет наличия вагонов запаса-консервации производится в режиме реального времени номерным способом на основе ввода в АСОУП соответствующих сообщений. Вагоны, изъятые из консервации, перечисляются в парк «в распоряжении дороги» и учитываются в зависимости от их технического состояния в рабочем парке или перечисляются на остаток неисправных на основании уведомления формы ВУ-23 и сообщения 1353. Порядок учета вагонов консервации, порядок действий работников станций, других подразделений дороги по заполнению и вводу сообщения 1359 приведены в «Технологии автоматизированного учета грузовых вагонов, отставленных в консервацию на Белорусской железной дороге и учитываемых в общем наличии вагонных парков за балансом».

Первичный учет наличия вагонов грузового парка производится на станциях. Основными документами данного учета являются:

- натурный лист поезда (форма ДУ-1);
- журнал движения поездов и локомотивов станции (ДУ-2 и ДУ-3);
- балансовый журнал вагонооборота станции (ДУ-4);
- акт об изъятии вагонов из рабочего парка или обратном перечислении в рабочий парк (ДУ-6);
- журнал учета перехода вагонов и контейнеров (ДУ-11);
- книга балансового наличия вагонов грузового парка и порожних вагонов (ДУ-16а);
- уведомление на ремонт вагона (ВУ-23);
- уведомление о приемке вагона из ремонта (ВУ-36);
- памятка приемосдатчика на подачу и уборку вагонов (ГУ-45);
- акт на исключение из инвентарного парка грузового вагона (ВУ-10);
- акт передачи (приема) грузового вагона на баланс (ВУ-70).

Статистическая отчетность о наличии, состоянии и использовании вагонов грузового парка и их принадлежности может составляться вручную или с использованием автоматизированных систем и комплекса технологий «ДИСПАРК». На основании учета перехода поездов и вагонов грузового парка по окончании отчетных суток ИРЦ (УП «Информационно-расчетный центр» Белорусской железной дороги) формирует следующие виды отчетов:

– «Отчет о переходе грузовых поездов, вагонов грузового парка и контейнеров» формы ДО-1 – количество сданных и принятых поездов, вагонов и контейнеров между железными дорогами и отделениями по каждому стыковому пункту с подразделением по роду, состоянию. Данный отчет имеет целью определить балансовое наличие грузовых вагонов и контейнеров на отделениях и дороге в целом, а также обеспечить возможность розыска грузов, не прибывших по назначению. Учету подлежат все грузовые вагоны, принятые и сданные с дороги на дорогу или с одного отделения на другое в составе грузовых, пассажирских и хозяйственных поездов и с одиночно следующими локомотивами. Единицей учета перехода грузовых вагонов является физический вагон независимо от количества осей. Учету в числе грузовых вагонов не подлежат: вагоны-механизмы (снегоочистители, снегоуборочные машины и специальные полувагоны-прицепы к ним, путеукладчики, путевые машины, подъемные краны, компрессоры, балластеры, путевые струги и др.), платформы собственности ПМС (путевая машинная станция) с нумерацией, начинающейся на цифру «1». Учет перехода грузовых вагонов между дорогами и отделениями ведется по общему количеству, роду вагонов с распределением на груженые и порожние с выделением «в том числе вагонов нерабочего парка». Грузовые вагоны учитывают по роду в соответствии с номером вагона. Переход с дороги на дорогу и с отделения на отделение частных вагонов учитывают на общем основании с выделением «в том числе». Кроме того, подсчитывается количество принятых и сданных частных вагонов по принадлежности государствам-соседникам. Вагоны, принадлежащие предприятиям и организациям, имеющие нумерацию менее восьми знаков, учитывают за балансом как «груз на своих осях». Общее наличие грузовых вагонов определяется по отделениям дорог и дороге в целом, используется для производства взаиморасчетов за пользование грузовыми вагонами в межгосударственном сообщении. Исходными данными для учета парка грузовых вагонов по роду, состоянию, использованию, принадлежности являются результаты натурной номерной переписи вагонов, проводимой всеми станциями Белорусской железной дороги в сроки, установленные приказом начальника дороги. В условиях работы совместным парком грузовых вагонов в межгосударственном сообщении натурная перепись проводится одновременно всеми железнодорожными администрациями в сроки, устанавливаемые Советом по железнодорожному транспорту;

– «Отчет о вагонном парке» формы ДО-2 – о наличии вагонов на станции, отделении и дороге в целом с подразделением по роду, состоянию и использованию. В отчет включают грузовые вагоны, используемые во всех видах движения: инвентарные, имеющие восьмизначную нумерацию с начальной цифрой 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9; частные, к которым относятся грузовые вагоны с восьмизначной нумерацией с начальной цифрой 5, принадлежащие предприятиям и организациям других министерств и ведомств или сданные в аренду третьему лицу, которым разрешен выход на общую сеть начальни-

ком дороги в пределах своей дороги, Советом по железнодорожному транспорту – в пределах нескольких дорог; иностранные, к которым относятся грузовые вагоны с 12-значной нумерацией, принадлежащие иностранным дорогам и находящиеся на колее 1520 в пределах Белорусской железной дороги. Грузовые инвентарные вагоны, находящиеся на подъездных путях, включаются в отчет станциями, к которым примыкают эти подъездные пути. Приватные вагоны, находящиеся на подъездных путях учитываются в наличии вагонов на подъездных путях станциями, к которым примыкают эти подъездные пути. В наличии грузовых вагонов за границей в международном перегрузочном сообщении учитываются инвентарные и приватные вагоны, сданные за границу по колее 1520 мм и временно переставленные на колею 1435 мм. Грузовые вагоны, находящиеся на отчетный час в составах поездов на перегонах или промежуточных станциях, включаются в отчет отделения дороги. В отчет не включаются: крытые вагоны, перечисленные в пассажирский парк с изменением нумерации грузовой на пассажирскую, а также все пассажирские вагоны; грузовые вагоны с нумерацией 7 и менее знаков в номере, восьмизначные с начальной цифрой на «1»;

– *«Отчет о приеме, сдаче, выгрузке и наличии вагонов с экспортными грузами» формы ДО-3* – прием и сдача вагонов с экспортными грузами, наличие на отделениях и дороге в целом с подразделением по родам грузов. В отчет включаются данные: о вагонах с экспортными грузами, погруженными на Белорусской железной дороге и следующими за границу через пограничные станции Белорусской железной дороги Брест, Свислочь и Лососна; о вагонах с грузами, следующими транзитом по территории Республики Беларусь за границу через пограничные станции Белорусской железной дороги Брест, Свислочь и Лососна. Не включаются в отчет данные о вагонах, загруженных мелкими отправлениями экспортных грузов совместно с другими отправлениями. Отчет состоит из трех разделов: принято вагонов других дорог; сдано и переставлено на другую колею вагонов; наличие вагонов на дороге и на станциях Брест, Свислочь, Лососна. Количество вагонов с экспортными грузами по всем разделам распределяется по роду груза (номенклатурные группы: уголь, нефтяные грузы, руда всякая, черные металлы, кокс, цемент, автомобили, химические и минеральные удобрения, лесные грузы, зерно, остальные грузы) и, кроме того, отдельно по каждой станции перехода за границу Брест, Свислочь, Лососна. Экспортные грузы относятся к номенклатурным группам по наименованию груза, указанному в дорожной ведомости, в соответствии с алфавитным списком к единой тарифной статистической номенклатуре грузов. В разделе «Принято вагонов других дорог» указывается количество вагонов с экспортными грузами, следующими через станции Брест, Свислочь, Лососна и поступившими на Белорусскую железную дорогу в течение отчетных суток. Учет поступления вагонов с экспортными грузами от других дорог ведется на всех входных станциях учета перехода вагонов отдельно по станциям перехода за границу Брест, Свислочь

и Лососна. Отнесение грузов к экспортным производится на основании грузовых документов. В разделе «Сдано и переставлено на другую колею вагонов» указывается количество вагонов с экспортными грузами, сданных за границу через станции Брест, Свислочь, Лососна и переставленных с колеи 1520 мм на колею 1435 мм в течение отчетных суток. В разделе «Наличие вагонов на дороге и на станциях Брест, Свислочь, Лососна» указывается наличие вагонов с экспортными грузами на конец отчетных суток. Это наличие определяется балансовым методом;

– *«Отчет о наличии, распределении и состоянии вагонов грузового парка» формы ДО-7* – наличие вагонов на начало отчетного месяца и изменение за месяц за счет всех элементов поступления и выбытия, наличие на конец месяца с группировкой по родам вагонов. Общее балансовое наличие грузовых вагонов определяется для отделения дороги и для дороги в целом как сумма наличного парка грузовых вагонов, находящихся в распоряжении дороги, на новостройках, подъездных путях и за границей в международном перегрузочном сообщении в сумме по колее 1520 и 1435 мм. Отчет характеризует наличие вагонов на дороге (отделении дороги), определяемое балансовым методом на каждое первое число следующего за отчетным месяца, как по общему и породовому количеству, так и по их состоянию. Отчет составляется один раз в месяц в отделе статистики отделения дороги и представляется в службу статистики управления Белорусской железной дороги. Отчет составляется по общему балансовому наличию (инвентарный парк плюс private вагоны) в целом и отдельно для частных вагонов. Отчет включает в себя сведения: о корректировке парка вагонов за отчетный период, произведенной отделением по разрешению службы статистики, в том числе и по переписи, а также произведенной службой статистики по решению Совета по железнодорожному транспорту; о количестве прибывших и убывших вагонов за отчетный период по всем элементам баланса (в абсолютных величинах); о распределении вагонов, находящихся в распоряжении дороги, по их использованию и состоянию; о наличии частных вагонов, зарегистрированных в базе данных как принадлежность Белорусской железной дороге; о наличии вагонов в аренде у предприятий, по заключенным договорам. Служба статистики за отчетный период составляет перечни номеров вагонов: новых, приобретенных от заводов; принятых на баланс в инвентарный парк; частных, зарегистрированных в автоматизированной базе данных; переоборудованных (по родам вагонов с соответствующим знаком); исключенных из инвентаря; переданных на баланс из инвентарного парка; частных, исключенных из автоматизированной базы данных. Перечни номеров вагонов используются для учета инвентарного парка грузовых вагонов на дороге и направляются в ГВЦ (главный вычислительный центр) МПС РФ для корректировки центральной картотеки грузовых вагонов (АБД ПВ);

– «Отчет о приеме, погрузке и наличии груженых вагонов по направлениям» формы ДО-15. Отчет характеризует распределение принятых груженых вагонов, погруженных за сутки, и наличие груженых вагонов на отчетный час, следующих назначением под выгрузку на дорогу (местный груз) и на выход через выходные пункты (транзит). Количество вагонов в отчете показывается в физических единицах с выделением из общего наличия груженых вагонов с местным и транзитным грузами на конец отчетных суток. Форма отчета разрабатывается применительно к наличию на дороге внешних пунктов перехода вагонов и отделений дороги. В разделе «Прием груженых» указывается число принятых на дорогу груженых вагонов отдельно по каждому входному пункту только от соседних дорог без учета приема от новостроек и из-за границы (из третьих стран). Количество принятых груженых вагонов распределяется на вагоны, следующие назначением под выгрузку на каждое отделение своей дороги и транзитом для сдачи на соседние дороги через каждый выходной пункт. Количество принятых груженых вагонов, учтенных по отчету формы ДО-15, должно быть равно количеству принятых груженых вагонов, учтенных по отчету формы ДО-1. Основанием для составления раздела служит натурный лист поезда формы ДУ-1. В разделе «Своя погрузка» учитывается количество погруженных вагонов за сутки с учетом приема груженых от новостроек и из-за границы (из третьих стран), а также занятых при операциях, не включаемых в погрузку, например, при перевозках хлебных щитов, съемного оборудования и др. Общее количество погруженных и занятых вагонов распределяется на вагоны, следующие под выгрузку на свою дорогу, отдельно на каждое отделение дороги, и на вагоны, следующие через выходные пункты дороги, с указанием отдельно по каждому пункту. Общее количество погруженных и занятых вагонов, учтенное в отчете формы ДО-15, должно быть равно количеству занятых вагонов, учтенных в отчете формы ГО-1. В разделе «Наличие груженых на конец отчетных суток» указывается количество груженых вагонов, находящихся на отчетный час на станциях, а также в поездах. Все наличие груженых вагонов на отчетный час распределяется на вагоны, следующие под выгрузку на свою дорогу с распределением по отделениям дороги (местный груз), и отдельно на вагоны, следующие для сдачи на другие дороги через каждый выходной пункт (транзитный груз). Общее количество вагонов с местным грузом распределяется по роду подвижного состава. Общее количество груженых вагонов, учтенное в отчете формы ДО-15, должно быть равно количеству груженых вагонов, учтенных в отчете формы ДО-2. При расхождении в отчете формы ДО-2 данных о груженых вагонах по балансу и фактическим наличием, разницу следует распределять пропорционально местному и транзитному грузу. Основанием для составления данных по разделу «Наличие груженых на конец отчетных суток» являются грузовые документы на груженные вагоны, находящиеся на станциях. Все транзитные вагоны, находящиеся на станциях (брошенные поезда, груз

с других станций), должны быть включены в отчет по станциям назначения (выгрузки), а не станциям расформирования.

Объектом наблюдения в статистике перевозок грузов служит совокупность товарно-материальных ценностей (грузов), подвергающихся транспортировке на основе документа, имеющего юридическую силу (перевозочного документа). Одним из таких документов является накладная – юридический документ, отражающий заключение договора на перевозку между отправителем груза и железной дорогой. На ее основе устанавливаются права и обязанности железной дороги, отправителя и получателя груза, производятся расчеты между ними, определяются условия перевозки и т. д. При завершении перевозки накладная вместе с грузом выдается получателю в подтверждение его права на груз.

Единицей наблюдения служит **отправка**, представляющая собой партию груза, принятую к перевозке от одного отправителя в адрес одного получателя, оформленная одним перевозочным документом.

С грузовыми отправлениями совершаются операции погрузки, выгрузки, перегрузки, приема и сдачи на другие отделения, дороги или государства. Учет погрузки и выгрузки на станциях Белорусской железной дороги ведется ежесуточно по состоянию на 17 часов местного времени. **Единицей учета и измерения погрузки и выгрузки** является физический грузовой вагон рабочего парка. Погрузка учитывается по станции:

– в вагонах в целом, в том числе: по родам грузов (номенклатурным группам), родам вагонов, железным дорогам и железнодорожным администрациям страны назначения, по принадлежности к железнодорожным администрациям-собственникам;

– в тоннах в целом, в том числе по родам грузов (номенклатурным группам). Количество тонн грузов, погруженных в вагон, включается в показатель *«отправление грузов»*.

Выгрузка по станции учитывается в вагонах в целом, в том числе по роду вагонов. Количество тонн грузов, выгруженных из вагона, включается в показатель *«прибытие грузов»*.

Показатели *«погрузка»*, *«выгрузка»*, *«отправление грузов»*, *«прибытие грузов»* для отделений Белорусской железной дороги и в целом по Белорусской железной дороге определяются суммированием данных по станциям. При перевозке грузов в контейнерах их тара включается в массу груза. Масса контейнеров, перевозимых в порожнем состоянии, включается в общий объем погрузки.

Для отражения экономической и эксплуатационной сторон перевозок, выявления их структуры, **перевозки группируют по следующим признакам**: вид сообщения; род груза; территориальная принадлежность, категория отправки.

На Белорусской железной дороге выделены два вида сообщения:

– *внутриреспубликанское* – перевозки железнодорожным транспортом общего пользования, совершаемые в пределах территории Республики Беларусь между станциями Белорусской железной дороги;

– *международное* – перевозки железнодорожным транспортом общего пользования, совершаемые между Республикой Беларусь и другими государствами. В международном железнодорожном сообщении выделяют вывоз, ввоз и транзит.

К вывозу относят такие перевозки, когда груз принят от отправителя, отправлен и сдан со станции Белорусской железной дороги назначением на железную дорогу другого государства, на железную дорогу «третьей» страны, на другой вид транспорта.

К ввозу относят такие перевозки, когда груз для окончания перевозки принят Белорусской железной дорогой от соседней железной дороги другого государства, от железной дороги «третьей» страны, от других видов транспорта и выдан станцией Белорусской железной дороги получателю.

К транзиту относят перевозки по Белорусской железной дороге грузов, принятых от соседних железных дорог других государств, от железной дороги «третьей» страны, от других видов транспорта и сданных для дальнейшей перевозки на соседние железные дороги других государств, на железную дорогу «третьей» страны, на другие виды транспорта.

Группировка по роду груза отражает породовую структуру перевозимых грузов с помощью ЕТСНГ (*единая тарифно-статистическая номенклатура грузов*), которая представляет собой перечень конкретных наименований грузов, распределенный по определенной классификационной системе.

Род груза – наименование перевозимого груза в соответствии с алфавитным списком грузов ЕТСНГ. Сборные отправки, состоящие из грузов различных наименований, относят к той позиции ЕТСНГ, по которой произведен расчет провозной платы. В качестве единицы измерения перевозок грузов используются показатели «тонна» и «физический вагон».

Перевозки грузов учитывают по номенклатурным группам, сформированным в соответствии с позициями ЕТСНГ. Для учета погрузки грузов (в вагонах и тоннах) применяется номенклатура груза, план и погрузка. Группы оперативной номенклатуры грузов соответствуют принятой структуре месячного плана перевозок, поскольку данные о породовой погрузке используются, прежде всего, для оценки выполнения плана перевозок. Кроме того, они широко применяются при оперативном регулировании перевозочного процесса.

Группировка перевозок по территориальному признаку характеризует грузообмен между отдельными регионами и субъектами Республики Беларусь. В основе любой территориальной группировки лежит постанционное отправление и прибытие грузов.

Группировка перевозимых грузов по категориям включает следующие отправки:

– *маршрутные (групповые)* – перевозимые отправительским или ступенчатым маршрутом, оформленные одним перевозочным документом на целый маршрут или группу вагонов, а также отдельными перевозочными документами на каждый включенный в состав маршрута вагон при наличии в документах специального штампа, служащего основанием для отнесения отправок к категории маршрутных;

– *повагонные* – партии грузов, оформленные одним перевозочным документом, под перевозку которых предоставляется отдельный вагон;

– *мелкие* – партии грузов (кроме грузов в контейнерах), предъявленные к перевозке по одному документу и не требующие предоставления отдельного вагона, а также все грузовые отправки, перевозимые в багажных вагонах;

– *контейнерные* – перевозимые в универсальных и специализированных контейнерах.

Порядок и сроки представления статистической отчетности о погрузке, выгрузке и о перевозках грузов определяются «Перечнем форм статистической отчетности, действующей на железной дороге», утверждаемым приказом Начальника железной дороги.

Используются следующие формы статистической отчетности:

– «*Отчет о грузовой работе по роду вагонов*» формы ГО-1. Характеризует работу станций по операциям «погрузка», «выгрузка», «занято» и «освобождено» с детализацией по родам подвижного состава. Составляют по станциям, отделениям и дороге в целом за отчетный период: сутки, месяц;

– «*Отчет о погрузке по номенклатурным группам и роду вагонов*» формы ГО-2. Отражает количество погруженных вагонов и тонн груза за отчетный период. Составляют по станциям, отделениям и дороге в целом за отчетный период: сутки, месяц;

– «*Отчет о погрузке по железным дорогам назначения*» формы ГО-3. Содержит данные о погрузке грузов по дорогам назначения. Составляют по станциям, отделениям и дороге в целом за отчетный период: сутки, месяц;

– «*Отчет о погрузке экспортных грузов*» формы ГО-4. Составляют по станциям, отделениям и дороге в целом за отчетный период: сутки, месяц;

– «*Отчет о погрузке грузов и использовании грузоподъемной силы вагонов*» формы ГО-10а. Отражает размеры погрузки в вагонах и тоннах грузов по номенклатурным группам грузов в целом по железной дороге и отделениям дороги;

– «*Отчет о погрузке по номенклатурным группам по станциям железной дороги*» формы ГО-10;

– *«Отчет об отправлении и прибытии грузов по отделениям и железной дороге» формы ЦО-11.* Характеризует объем отправленных и прибывших грузов по номенклатурным группам, сформированным в соответствии с позициями ЕТСНГ. В отчете могут быть выделены отдельные позиции ЕТСНГ;

– *«Отчет об использовании грузоподъемной силы вагонов при погрузке грузов и выполнении технических норм загрузки вагонов» формы ЦО-29.* Отражает использование вагонов с подразделением их по роду вагонов и грузоподъемности с указанием статической нагрузки в тоннах на вагон и процента использования грузоподъемности при погрузке грузов в целом по Белорусской железной дороге и отделениям дороги;

– *«Отчет о перевозке грузов, их пробегах и полученном доходе от тарифных тонно-километров по железной дороге» формы ЦО-12.* Содержит сведения о размерах перевозок грузов в тоннах (перевезено тонн) и в тарифных тонно-километрах (грузооборот тарифный) по видам сообщений, среднюю дальность перевозки грузов. Составляют по номенклатурным группам, сформированным в соответствии с позициями ЕТСНГ за отчетный период: месяц, квартал и нарастающим итогом. Отчет составляется отдельно по отделениям Белорусской железной дороги;

– *«Отчет о международных перевозках грузов по железной дороге» формы ЦО-21.* Отражает размеры перевозок основных грузов: всего в тоннах и в тонно-километрах по видам сообщений, с подразделением по странам отправления груза и странам назначения груза, по номенклатурным группам, сформированным в соответствии с позициями ЕТСНГ. Составляют о международных перевозках грузов в целом и отдельно о международных перевозках грузов в контейнерах и в собственных вагонах за отчетный месяц, квартал и нарастающим итогом;

– *«Отчет о перевозках грузов через межгосударственные стыковые пункты железной дороги» формы ЦО-21 (стык).* Включает данные о размерах перевозок основных грузов в международном сообщении в тоннах и в тонно-километрах по видам сообщений, через каждую пограничную станцию. Составляют по номенклатурным группам грузов и странам, участвующим в перевозках за отчетный квартал, 1-е полугодие, 9 месяцев, год;

– *«Отчет о международных перевозках грузов по железной дороге с использованием морских торговых портов сопредельных и других государств» формы ЦО-21 (порт).* Отражает размеры перевозок грузов в международном сообщении в тоннах и в тонно-километрах по видам сообщений, с подразделением по железнодорожным станциям, примыкающим к морским торговым портам. Составляют по выделенным номенклатурным группам грузов за отчетный квартал, 1-е полугодие, 9 месяцев, год.

1.4.2 Показатели использования вагонов грузового парка

Об эффективности эксплуатации вагонов можно судить по количественным показателям, характеризующим объем работы, и качественным, отражающим их использование по времени. От величины этих показателей зависит, какой объем работы можно выполнить заданным парком или какой парк требуется для выполнения заданного объема работы. Количественные показатели в большей степени определяются планом перевозок, а качественные зависят от уровня применяемых технических средств и организации работы.

Количественные показатели работы вагонных парков.

Перевезено грузов – характеризует массу грузов P , которые в отчетном периоде прибыли (учтены по моменту прибытия внутриреспубликанского и международного сообщений), отправлены (учтены по моменту отправления внутриреспубликанского и международного сообщений) и проследовали через Белорусскую железную дорогу (учтены по моменту проследования в международном сообщении).

Для дороги и отделений количество перевезенных тонн груза равно сумме отправленных $\sum P_{отп}$ и принятых $\sum P_{прн}$ для продолжения процесса перевозок грузов:

$$\sum P = \sum P_{отп} + \sum P_{прн} . \quad (1.1)$$

Погрузка, ваг., – к погруженным вагонам относятся вагоны рабочего парка, загруженные грузом, при наличии оформленных документов для перевозки по железной дороге. Погрузка по дороге $U_{п}^Д$ и отделениям $U_{п}^{НОД}$ определяется как сумма погруженных вагонов по всем станциями Белорусской железной дороги $U_{пi}$:

$$U_{п}^Д = U_{п1} + U_{п2} + \dots + U_{пi} = \sum U_{пi} = \sum U_{п}^{НОДi} . \quad (1.2)$$

При планировании работы дороги погрузку в вагонах определяют делением количества отправленных тонн груза $\sum P_{отп}$ на среднюю статическую нагрузку вагона $P_{ст}$:

$$U_{п} = \frac{\sum P_{отп}}{P_{ст}} . \quad (1.3)$$

Учет погрузки по родам грузов (номенклатурным группам) ведется в вагонах и тоннах в соответствии с номенклатурой грузов плана и учета погрузки согласно Прейскуранту № 10-01 Белорусской железной дороги. Номенклатурную группу погруженных грузов определяют в соответствии с Единой тарифно-статистической номенклатурой грузов (ЕТСНГ).

Выгрузка, ваг., – конечная операция перевозочного процесса, характеризующаяся освобождением подвижного состава от перевозимых в нем грузов как на местах общего, так и не общего пользования. Определяется как сумма выгруженных вагонов по всем станциям Белорусской железной дороги:

$$U_{\text{в}}^{\text{Д}} = U_{\text{в1}} + U_{\text{в2}} + \dots + U_{\text{ви}} = \sum U_{\text{ви}} = \sum U_{\text{в}}^{\text{НОД}i} . \quad (1.4)$$

Регулировочный разрыв по сдаче и приему порожних вагонов, ваг., – количество порожних вагонов, подлежащих сдаче (приему) из-под своей выгрузки. Определяется как разница между выгрузкой $U_{\text{в}}$ и погрузкой $U_{\text{п}}$ однородного подвижного состава:

$$U_{\text{р}} = U_{\text{в}} - U_{\text{п}} . \quad (1.5)$$

Прием и сдача вагонов (контейнеров) – показатель, характеризующий операции по передаче вагонов и контейнеров между отделениями Белорусской железной дороги и железными дорогами других государств, железной дорогой «третьей» страны. Определяется по времени фактического проследования, прибытия и отправления поезда по МГСП, МГЭСР и стыковыми станциями между отделениями дороги. Прием и сдача вагонов учитывается как сумма принятых (сданных) груженых $U_{\text{пр}}^{\text{гр}}$ и порожних $U_{\text{пр}}^{\text{пор}}$ вагонов по всем пунктам перехода вагонов между отделениями дороги и соседними дорогами:

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{пр}}^{\text{гр}} + U_{\text{пр}}^{\text{пор}} ; U_{\text{сд}} = U_{\text{сд}}^{\text{гр}} + U_{\text{сд}}^{\text{пор}} . \quad (1.6)$$

Перемещение вагонного парка, ваг., – определяется как разница между приемом и сдачей вагонов для отделений или Белорусской железной дороги в целом:

$$U_{\text{пер}} = U_{\text{пр}} - U_{\text{сд}} . \quad (1.7)$$

Прием и сдача поездов, поезд, – характеризует работу Белорусской железной дороги, отделений по передаче поездов по МГСП, МГЭСР и стыковым станциям между отделениями. Определяется как сумма принятых (сданных) поездов $\sum N_{\text{пр}}$ по всем пунктам перехода вагонов между отделениями и соседними железными дорогами:

$$N_{\text{пр}} = \sum N_{\text{пр}i} ; N_{\text{сд}} = \sum N_{\text{сд}i} . \quad (1.8)$$

Средний состав поезда, ваг., – среднее количество вагонов в поездах, проследовавших по участку за определенный период. Определяется делением вагоно-километров пробега грузовых вагонов $\sum nS$ на локомотиво-километры пробега поездов $\sum NS$:

$$m_{\text{ср}} = \frac{\sum nS}{\sum NS}. \quad (1.9)$$

Вагонооборот станции, ваг., – количество вагонов, переработанных станцией за отчетный период. Определяется как сумма прибывших на станцию в течение отчетных суток $n_{\text{пр}}$ и убывших $n_{\text{уб}}$ вагонов:

$$n = n_{\text{к}} + n_{\text{пр}} - n_{\text{уб}}. \quad (1.10)$$

В вагонооборот не включаются вагоны, отправленные и прибывшие с подъездных путей, примыкающих к станции.

Грузооборот, т·км, – характеризует размеры перевозочной работы с учетом расстояния перевозки грузов. Различают грузооборот:

– тарифный – расчетный показатель продукции железнодорожного транспорта, выраженный в тарифных тонно-километрах. Определяется как сумма произведений массы в тоннах грузовых отправок P на тарифное расстояние их перевозки l (по перевозочным документам), за которое взимается плата, измеряется в тарифных тонно-километрах:

$$\sum Pl_{\text{тар}} = P_1 l_1 + \dots + P_n l_n; \quad (1.11)$$

– эксплуатационный – показывает объем перевозочной работы с учетом фактического расстояния перемещения груза. Определяется на основе данных ИОММ (интегрированная обработка маршрута машиниста) умножением массы нетто поезда на длину поезда-участка:

$$\sum Pl_{\text{э}} = \sum Q_i^{\text{н}} l_{\text{уч}i}; \quad (1.12)$$

– брутто – характеризует объем механической работы локомотивов по перемещению поездов. Определяется умножением массы поезда брутто (без массы локомотива) на пройденное расстояние:

$$\sum Pl_{\text{бр}} = \sum Q_i^{\text{бр}} l_{\text{уч}i}. \quad (1.13)$$

Рассчитывается по конкретному виду тяги (электрическая, тепловозная, паровая), по поезда-участкам и направлениям движения (туда и обратно), дороге в целом (депо, отделения);

– приведенный – обобщающий показатель транспортной продукции, характеризующий суммарную работу отделений и дороги в целом по перевозке грузов и пассажиров и измеряемый в приведенных тонно-километрах. Определяется как сумма тарифных тонно-километров $\sum Pl_{\text{тар}}$ и пассажиро-километров $\sum Al$:

$$\sum Pl_{\text{прив}} = \sum Pl_{\text{тар}} + \sum Al. \quad (1.14)$$

При расчете производительности труда приведенный грузооборот определяется путем сложения тарифных тонно-километров и удвоенных пассажиро-километров.

Разрыв между эксплуатационными и тарифными тонно-километрами, %, – определяется как частное от деления эксплуатационного $\sum Pl_3$ и тарифного $\sum Pl_{\text{тар}}$ грузооборота:

$$\delta_{\text{трф}} = \frac{\sum Pl_3}{\sum Pl_{\text{тар}}}. \quad (1.15)$$

Средняя дальность перевозки грузов, км, – средневзвешенное расстояние перемещения в пределах дороги 1 тонны груза от станции отправления или от входной пограничной станции при приеме груза от соседней железной дороги до станции назначения или до выходной пограничной станции при сдаче груза на соседнюю железную дорогу (с учетом расстояния до госграницы).

Средняя дальность перевозки груза в отчетном периоде определяется делением суммарного тарифного грузооборота $\sum Pl_{\text{тар}}$ на количество перевезенных тонн груза $\sum P$ – по наименованию и номенклатуре грузов, видам сообщений:

$$l_{\text{ср}} = \frac{\sum Pl_{\text{тар}}}{\sum P}. \quad (1.16)$$

Густота перевозок грузов (грузонапряженность), т·км брутто/км, – расчетный показатель, характеризующий интенсивность грузового потока на железнодорожном участке (линии). Величина его показывает, какое количество тонн груза проходит через каждый километр пути за отчетный период. Средняя густота перевозок грузов для железной дороги в целом и отделений дороги определяется делением выполненного эксплуатационного грузооборота $\sum Pl_3$ на эксплуатационную длину железнодорожных путей общего пользования L_3 :

$$\Gamma = \frac{\sum Pl_3}{L_3}. \quad (1.17)$$

Работа парка грузовых вагонов, ваг., – характеризует количество грузовых вагонов рабочего парка, с которыми совершаются операции на отделениях или дороге в целом. Определяется как сумма погруженных вагонов $U_{\text{п}}$ (погрузка) и принятых от соседних дорог (отделений железной дороги) погруженных вагонов $U_{\text{пр}}^{\text{пр}}$:

$$U^{(Д)НОД} = U_{п} + U_{пр}^{гр}. \quad (1.18)$$

Для планирования деятельности Белорусской железной дороги работа определяется также как сумма выгруженных $U_{в}$ и сданных $U_{сд}^{гр}$ на соседние железные дороги (отделения железной дороги) груженых вагонов:

$$U^{(Д)НОД} = U_{в} + U_{сд}^{гр}. \quad (1.19)$$

Пробег вагонов общий, ваг·км, – оценивает работу, связанную с перемещением вагонов рабочего парка. Определяется как сумма произведения числа вагонов n на соответствующее расстояние их пробега S . Состоит из пробега груженых и порожних вагонов:

$$\sum nS = \sum nS_{гр} + \sum nS_{пор}. \quad (1.20)$$

Пробег груженых вагонов, ваг·км, – характеризует работу, совершаемую на расстоянии, пройденном грузовыми вагонами рабочего парка с грузами. Определяется как сумма произведения числа груженых вагонов $n'_{гр}$ на соответствующее расстояние их пробега $S'_{гр}$:

$$\sum nS_{гр} = n'_{гр}S'_{гр} + n''_{гр}S''_{гр} + n'''_{гр}S'''_{гр} + n^n_{гр}S^n_{гр}. \quad (1.21)$$

Пробег порожних вагонов, ваг·км, – показывает работу, совершаемую на расстоянии, пройденном грузовыми вагонами рабочего парка без груза. Определяется как сумма произведения числа порожних вагонов $n'_{пор}$ на соответствующее расстояние их пробега $S'_{пор}$:

$$\sum nS_{пор} = n'_{пор}S'_{пор} + n''_{пор}S''_{пор} + n'''_{пор}S'''_{пор} + n^n_{пор}S^n_{пор}. \quad (1.22)$$

Коэффициент порожнего пробега вагонов – показывает долю порожнего пробега вагонов по отношению к груженому или общему пробегу. Определяется делением порожних вагоно-километров пробега $\sum nS_{пор}$ на груженые $\sum nS_{гр}$ или общие $\sum nS$ ваг·км пробега:

$$k_{пор} = \frac{\sum nS_{пор}}{\sum nS_{гр}}, \quad k'_{пор} = \frac{\sum nS_{пор}}{\sum nS}. \quad (1.23)$$

Качественные показатели работы вагонных парков.

Оборот грузового вагона, сут, – основной показатель использования вагонного парка по времени, включающий затраты времени на выполнение

цикла операций от момента окончания погрузки вагона до момента окончания следующей его погрузки. Для вагонов, не имеющих на данном подразделении (железнодорожной дороге, отделении железной дороги) полного перевозочного цикла. Под оборотом понимают время от момента приема груженого вагона или начала погрузки до следующей погрузки или сдачи его на соседние дороги (отделения), т. е. затраты вагоно-суток на каждый вагон, участвующий в работе железной дороги (отделения).

Среднее время оборота грузового вагона – показатель, определяемый для железной дороги (отделения железной дороги) по всем вагонам рабочего парка, для вагонов с местным грузом, порожних вагонов, по отдельным родам вагонов.

Определяется суммированием времени нахождения вагона в движении $l_o/v_{уч}$, под грузовыми операциями $k_M t_{гр}$ и на технических станциях $\frac{l_o}{L_{тех}} t_{тех}$:

$$\Theta = \frac{1}{24} \left(\frac{l_o}{v_{уч}} + \frac{l_o}{L_{тех}} t_{тех} + k_M t_{гр} \right). \quad (1.24)$$

Среднее время оборота грузового вагона, сут. – определяется путем деления среднесуточного рабочего парка вагонов N_p на работу U :

$$\Theta = \frac{N_p}{U}. \quad (1.25)$$

Среднее время оборота вагона с местным грузом, сут. – время от момента поступления вагона с местным грузом на железную дорогу (отделение железной дороги) или от момента погрузки вагона во внутриреспубликанском сообщении до момента его выгрузки. Определяют его делением числа вагонов с местным грузом без сортировки N_M на число выгруженных вагонов U_B :

$$\Theta_M = \frac{N_M}{U_B} = \frac{1}{24} \left(\frac{l_M}{v_{уч}} + \frac{l_M}{L_{тех}} t_{тех} + k'_M t_{гр} (1 - \gamma) \right). \quad (1.26)$$

Среднее время оборота порожнего вагона, сут. – время нахождения вагонов в порожнем состоянии. Определяют делением числа порожних вагонов рабочего парка $N_{пор}$ на работу порожних вагонов $U_{пор}$ – сумму погруженных вагонов $U_{п}$ и порожних вагонов, сданных на соседние железные дороги $U_{сд}^{пор}$ (отделения Белорусской железной дороги):

$$\Theta_{\text{пор}} = \frac{N_{\text{м}}}{U_{\text{в}}} = \frac{1}{24} \left(\frac{l'_{\text{пор}}}{v_{\text{уч}}} + \frac{l'_{\text{пор}}}{L_{\text{тех}}} t_{\text{тех}} + k_{\text{м}}'' t_{\text{гр}} \gamma \right) = \frac{N_{\text{пор}}}{U_{\text{пор}}} = \frac{N_{\text{пор}}}{U_{\text{п}} + U_{\text{сд}}^{\text{пор}}}. \quad (1.27)$$

Среднее время оборота транзитного вагона, сут, – время нахождения вагонов с транзитным грузом на железной дороге. Определяют делением числа вагонов рабочего парка с транзитным грузом $N_{\text{тр}}$ на работу транзитных вагонов (сдача груженных):

$$\Theta_{\text{тр}} = \frac{1}{24} \left(\frac{l_{\text{тр}}}{v_{\text{уч}}} + \frac{l_{\text{тр}}}{L_{\text{тех}}} t_{\text{тех}} + k_{\text{м}}'' t_{\text{тр}} (1 - \gamma) \right) = \frac{N_{\text{тр}}}{U_{\text{сд}}^{\text{тр}}}. \quad (1.28)$$

Рейс грузового вагона полный, км, – это среднее расстояние, которое вагон проходит за время оборота как в груженом, так и в порожнем состоянии. Рассчитывается путем деления вагоно-километров пробега $\sum nS$ на работу вагонного парка U :

$$l_{\text{o}} = \frac{\sum nS}{U} = l_{\text{гр}} + l_{\text{пор}}. \quad (1.29)$$

Для Белорусской железной дороги (отделения) полный рейс вагона исчисляется условно и представляет собой расстояние пробега, приходящееся в среднем на каждый вагон, участвующий в работе Белорусской железной дороги (отделения).

Рейс грузового вагона груженный, км, – расстояние, которое проходит вагон за время оборота в груженом состоянии. Рассчитывается путем деления вагоно-километров груженого пробега $\sum nS_{\text{гр}}$ на работу вагонного парка U :

$$l_{\text{гр}} = \frac{\sum nS_{\text{гр}}}{U}. \quad (1.30)$$

Рейс грузового вагона порожний, км, – расстояние, которое проходит вагон за время оборота в порожнем состоянии. Рассчитывается путем деления вагоно-километров порожнего пробега $\sum nS_{\text{пор}}$ на работу вагонного парка U :

$$l_{\text{пор}} = \frac{\sum nS_{\text{пор}}}{U}. \quad (1.31)$$

Коэффициент двоянных операций – среднее количество грузовых операций, приходящихся на один местный вагон. Определяется отношением числа грузовых операций (погрузка $U_{\text{п}}$ и выгрузка $U_{\text{в}}$) к количеству местных вагонов на станциях $N_{\text{м}}$:

$$k_{\text{сдв}} = \frac{U_{\text{п}} + U_{\text{в}}}{N_{\text{м}}}. \quad (1.32)$$

Коэффициент местной работы – доля, приходящаяся на операции погрузки и выгрузки от общей работы дороги (отделения). В общем случае определяется делением суммы грузовых операций (погрузка $U_{\text{п}}$ и выгрузка $U_{\text{в}}$) на работу U дороги (отделения):

$$k_{\text{м}} = \frac{U_{\text{п}} + U_{\text{в}}}{U}. \quad (1.33)$$

Для местных вагонов определяется путем деления погрузки в местном сообщении и выгрузки на работу местного вагона (выгрузку):

$$k_{\text{м}}^{\text{м}} = \frac{U_{\text{м.с}} + U_{\text{в}}}{U_{\text{в}}}. \quad (1.34)$$

Для порожних вагонов сумма погрузки $U_{\text{п}}$ и выгрузки $U_{\text{в}}$ делится на работу порожнего вагона (сумму погрузки и сдачи порожних):

$$k_{\text{м}}^{\text{пор}} = \frac{U_{\text{п}} + U_{\text{в}}}{U_{\text{п}} + U_{\text{сд}}^{\text{пор}}}. \quad (1.35)$$

Вагонное плечо, км, – среднее условное расстояние, т. е. расстояние, которое грузовой вагон рабочего парка проходит между смежными техническими операциями. Определяется отношением общего пробега вагонов $\sum nS$ на число отправленных транзитных вагонов со всех технических станций $n_{\text{от}}^{\text{тр}}$:

$$L_{\text{тех}} = \frac{\sum nS}{n_{\text{от}}^{\text{тр}}}. \quad (1.36)$$

Среднее число технических станций, ст., – среднее число станций, на которых с вагоном производятся технические операции и которые проходит вагон за время оборота. Определяется путем деления общего рейса вагона l_0 на вагонное плечо $L_{\text{тех}}$:

$$k_{\text{тех}} = \frac{l_0}{L_{\text{тех}}}. \quad (1.37)$$

Средняя участковая скорость движения поездов, км/ч, – расстояние, пройденное поездом по участку в среднем за 1 ч. Определяется делением

пробега поездов $\sum NL$ на сумму времени нахождения поездов в движении с учетом стоянок на промежуточных станциях и времени на разгон и замедление $\sum Nt$ или путем деления линейного пробега локомотивов на сумму времени нахождения локомотивов в движении с учетом простоя локомотивов на станциях:

$$v_{\text{уч}} = \frac{\sum NL}{\sum Nt} = \frac{\sum MS_{\text{лин}}^{\text{гл}}}{\sum Mt_{\text{дв}}^{\text{л}} + \sum Mt_{\text{ст}}^{\text{л}}}. \quad (1.38)$$

Средняя техническая скорость движения поездов, км/ч, – расстояние, пройденное поездом по участку в среднем за 1 ч без учета времени стоянок на промежуточных станциях. Определяется делением пробега поездов на сумму времени нахождения поездов в движении без учета стоянок на станциях, но с учетом затрат времени на разгон и замедление или делением линейного пробега локомотивов в голове поездов на локомотиво-часы пробега в голове поездов:

$$v_{\text{тех}} = \frac{\sum NL}{\sum Nt_{\text{дв}}} = \frac{\sum MS_{\text{лин}}^{\text{гл}}}{\sum Mt_{\text{лин}}^{\text{гл}}}. \quad (1.39)$$

Коэффициент участковой скорости – отношение средней участковой скорости $v_{\text{уч}}$ к средней технической скорости $v_{\text{тех}}$ движения поездов:

$$\beta = \frac{v_{\text{уч}}}{v_{\text{тех}}}. \quad (1.40)$$

Средний простой вагона под одной грузовой операцией, ч, – средняя затрата времени на одну грузовую операцию. Определяется отношением вагоно-часов простоя под грузовыми операциями $\sum n_{\text{м}} t_{\text{м}}$ на количество грузовых операций (сумма занятых и освобожденных вагонов):

$$t_{\text{гр}} = \frac{\sum n_{\text{м}} t_{\text{м}}}{U_{\text{з}} + U_{\text{о}}}. \quad (1.41)$$

Средний простой местного вагона, ч, – средняя затрата времени на грузовую операцию с местным вагоном на станции. Определяется отношением вагоно-часов простоя местных вагонов на станции $\sum n_{\text{м}} t_{\text{м}}$ к числу этих вагонов $n_{\text{м}}$:

$$t_M = \frac{\sum n_M t_M}{n_M}. \quad (1.42)$$

Средний простой на одной технической станции, ч, – средние затраты времени выполнения операций с вагонами на технических станциях. Определяется путем деления вагоно-часов простоя транзитных вагонов на всех станциях $\sum n_{\text{тр}}^{\text{от}} t_{\text{тр}}$ на количество отправленных транзитных вагонов с этих станций $n_{\text{тр}}^{\text{от}}$:

$$t_{\text{тех}} = \frac{\sum n_{\text{тр}}^{\text{от}} t_{\text{тр}}}{n_{\text{тр}}^{\text{от}}}. \quad (1.43)$$

Простои на технической станции рассчитываются для транзитного вагонотока с переработкой и без переработки.

Среднесуточный пробег грузового вагона, км, – показатель, который характеризует среднее расстояние, проходимое грузовым вагоном за сутки в отчетном периоде. Определяется делением общего пробега грузовых вагонов $\sum nS$ на рабочий парк вагонов N_p :

$$S_b = \frac{\sum nS}{N_p}. \quad (1.44)$$

Средняя статическая нагрузка вагона, т, – характеризует загрузку вагона на момент его погрузки. Определяется делением количества погруженных тонн груза $\sum P_{\text{п}}$ на соответствующее количество загруженных грузовых вагонов $U_{\text{п}}$:

$$P_{\text{ст}} = \frac{\sum P_{\text{п}}}{U_{\text{п}}}. \quad (1.45)$$

Среднюю статическую нагрузку определяют отдельно по каждому роду вагонов и номенклатуре грузов, а также вместе по всем грузам и вагонам, погруженным на станции, отделении и в целом по Белорусской железной дороге.

Средняя динамическая нагрузка на груженный вагон, т, – средняя нагрузка груженого вагона на всем пути следования. Определяется делением эксплуатационного грузооборота $\sum Pl_3$ на пробег груженных вагонов $\sum nS_{\text{гр}}$ рабочего парка:

$$P_d = \frac{\sum Pl_3}{\sum nS_{\text{гр}}}. \quad (1.46)$$

Средняя динамическая нагрузка на вагон рабочего парка, t – средняя нагрузка вагона рабочего парка на всем пути следования за определенный период времени. Определяется делением эксплуатационного грузооборота $\sum Pl_3$ на общий пробег вагонов $\sum nS$ рабочего парка:

$$P_{\text{д}}^{\text{р}} = \frac{\sum Pl_3}{\sum nS}. \quad (1.47)$$

Средняя грузоподъемность вагона, t – количество тонн груза, которое может перевозиться в вагонах данной категории. Определяется делением общей суммарной грузоподъемности загруженных вагонов в тоннах $\sum qn$ на количество загруженных вагонов $\sum n$:

$$q = \frac{\sum qn}{\sum n}. \quad (1.48)$$

Среднесуточная производительность грузового вагона, т·км нетто – работа, выполняемая вагоном рабочего парка за сутки, выраженная в эксплуатационных тонно-километрах нетто. Определяется путем деления эксплуатационного грузооборота $\sum Pl_3$ на рабочий парк вагонов R или умножением динамической нагрузки на вагон рабочего парка $P_{\text{д}}^{\text{р}}$ на среднесуточный пробег вагона $S_{\text{в}}$:

$$W_{\text{в}} = \frac{\sum Pl_3}{N_{\text{р}}}; W_{\text{в}} = P_{\text{д}}^{\text{р}} S_{\text{в}}. \quad (1.49)$$

1.5 Система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, классификация подразделений технического обслуживания и ремонта

Система технического обслуживания вагонов является частью более сложной системы «железнодорожный транспорт» и включает структуру предприятий по техническому обслуживанию вагонов, которым задана функция обеспечения перевозочного процесса вагонами при условии их экономической целесообразности, безопасности движения и сохранности грузов. Структура этой системы, или материально-техническая база вагонного хозяйства, сложилась исторически и отражает особенности общей экономической системы и общего уровня развития техники в стране.

В таблице 1.8 приведены межремонтные сроки для грузовых вагонов.

Т а б л и ц а 1.8 – Межремонтные сроки для грузовых вагонов (согласно приказу № 36Ц)

Тип вагона	Виды и сроки ремонта	
	заводской	деповской
Платформы грузоподъемностью 63 т	Через 12 лет после постройки или заводского ремонта	Ежегодно. Вагоны с тележками, имеющими литые боковины, новой постройки или отремонтированные заводским ремонтом – через 2 года
Крытые вагоны, платформы (кроме указанных выше), цистерны, вагоны для перевозки цемента, хоппер-дозаторы, цистерны-цементовозы	Через 10 лет после постройки или заводского ремонта	
Полувагоны	Через 7 лет после постройки или заводского ремонта и через 5 лет, проработавшие более 20 лет	
Хоппер-окатышевозы	Через 7 лет после постройки или заводского ремонта	
Полувагоны шестиосные	Через 5 лет после постройки или заводского ремонта	Ежегодно
Кислотные цистерны, битумные полувагоны	Через 4 года после постройки или заводского ремонта	”

Переход к рыночной экономике и достигнутый к середине 90-х годов уровень развития средств вычислительной техники и связи теоретически обеспечивали предпосылки для разработки технологии, предусматривающей слежение в оперативном режиме времени за использованием единичных вагонов в перевозочном процессе и централизованный учет фактически выполненного объема работ каждым вагоном.

На сети дорог СНГ принята **новая система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов с учетом фактически выполненного объема работ**. Разработчиками нормативно-технической составляющей системы стали ВНИИЖТ и проектно-конструкторское бюро Департамента вагонного хозяйства (ПКБ ЦВ РФ), а информационного обеспечения – ГВЦ МПС.

После глубокого анализа и всесторонних обсуждений принципов построения системы было принято решение сохранить календарные сроки капитального ремонта. В отношении нормативов деповского ремонта было принято решение о применении комбинированного критерия, ограничивающего эксплуатацию вагонов объемом выполненной работы и предельно

допустимым сроком эксплуатации между плановыми ремонтами, при этом вагон должен выводиться в ремонт при выработке любого из двух нормативов. Для оценки критерия объема выполненной работы было решено использовать выраженный в километрах общий (груженный плюс порожний) пробег при использовании вагона по прямому назначению. Выбор этого критерия объясняется тем, что на момент начала разработки системы получение этого показателя на всех уровнях управления вагонным хозяйством было наиболее доступно.

На первом этапе разработки новой системы (1996–1997 гг.) была проведена необходимая организационная подготовка, разработаны нормативно-техническая документация, программное обеспечение и установлены опытные межремонтные нормативы вывода вагонов после деповского ремонта в очередной плановый.

Норматив межремонтного пробега был установлен по результатам опытной эксплуатации ходовых частей серийных полувагонов с осевой нагрузкой 27 т на ось и скорости движения 70–75 км/ч на экспериментальном кольце ВНИИЖТа, т. е. условия эксплуатации полувагонов были значительно тяжелее, чем на сети дорог. А норматив календарной продолжительности межремонтного периода был установлен в размере 24 месяцев.

Для определения *норматива межремонтного пробега грузовых вагонов* до первого деповского ремонта после постройки и капитального ремонта проводилось обследование технического состояния вагонов, поступающих в первый деповский ремонт по нормативам, т. е. через 36 и 24 месяца соответственно. Результаты обработки полученной статистической информации показали, что предельно допустимые значения контролируемых параметров базовых узлов и деталей достигаются в среднем через 250–260 тыс. км после постройки и 180–200 тыс. км после капитального ремонта. Исключение составляют колесные пары, скользуны, автосцепка (по выходу). Основываясь на полученных результатах, с 1999 г. в России и с 2002 г. в Беларуси начали переводить на новую систему вагоны после постройки, капитального ремонта и ремонта с продлением срока полезного использования. Учитывая, что на данном этапе практическая апробация нормативов пробега для вагонов после изготовления и производства капитального ремонта не проводилась, их значения были установлены ниже расчетных, а норматив пробега вагонов после деповского ремонта на основании результатов подконтрольной эксплуатации глухонных полувагонов был увеличен на 10 тыс. км.

Переход на данную систему позволил увеличить календарный срок между деповскими ремонтами в два раза, установив при этом межремонтный пробег 110 тыс. км. В результате грузовые вагоны стали поступать в деповской ремонт на 30 % реже, сократились эксплуатационные затраты. Анализ поступления в ремонт по комбинированной системе показал, что порядка 70 % грузовых вагонов выбегают 110000 км до истечения календарного

межремонтного срока, в связи с чем возникла необходимость увеличения межремонтного пробега.

Поэтому вторым этапом стало *увеличение межремонтного пробега со 110 до 160 тыс. км* за счет проведения, начиная с 2005 года, модернизации тележек модели 18-100 с установкой износостойких элементов в узлы трения. При этом календарный межремонтный срок для ряда родов вагонов был увеличен до трех лет (4-осные вагоны-цистерны, платформы, крытые, хоппер-дозаторы, хопперы для перевозки зерна). В настоящее время весь инвентарный парк переведен на межремонтный пробег до 160 тыс.км. Данная модернизация позволила значительно снизить износ рабочих поверхностей дорогостоящего крупногабаритного вагонного литья и уменьшить расходы на его восстановление при ремонте, при этом уровень безопасности движения поездов повысился.

Третьим этапом улучшения эффективности использования ресурса грузовых вагонов предполагает *увеличение межремонтного пробега со 160 до 250 тыс. км и календарного межремонтного срока с 2-3 до 4 лет* за счет установки (замены) при ремонте узлов и деталей повышенной надежности. Это прежде всего: буксовых подшипников кассетного типа; поглощающих аппаратов повышенной энергоемкости класса Т-1 типа РТ-120; безрезьбовых соединений воздухопроводов тормозной магистрали; авторезжимов модели 265А-4; пружин рессорного комплекта. Данные узлы и детали уже начали производиться и использоваться в вагоностроении. Также предполагается проведение модернизации по проекту С.03.04 тележек модели 18-100, используемых под полувагонами с применением боковых скользунов постоянного контакта, полимерных прокладок в пятниковых узлах, фрикционных клиньев из термоупрочненного чугуна с установленными на них сменными полимерными накладками, фрикционных планок повышенной износостойкости, триангелей с безрезьбовым креплением тормозных башмаков.

Для внедрения данного инвестиционного проекта на Белорусской железной дороге необходимо тщательное технико-экономическое обоснование и оценка его эффективности. Поэтому выполнен анализ структуры вагонного парка, технического состояния и интенсивности использования подвижного состава в перевозочном процессе, проведена оценка возможности увеличения межремонтного пробега грузовых вагонов в существующей системе технической эксплуатации с учетом использования новых конструктивных изменений. Предварительная оценка экономической эффективности данного инвестиционного проекта на Белорусской железной дороге показала, что дисконтированная стоимость жизненного цикла единицы подвижного состава, оборудованной узлами и деталями повышенного ресурса, меньше вагона с базовой комплектации. Экономическая эффективность достигается в основном за счет сокращения количества и стоимости депоовских и текущих

ремонт за жизненный цикл вагона. Срок окупаемости данного проекта не превышает 8 лет.

Следующим шагом в развитии системы может быть переход на использование в качестве нормированного значения межремонтного норматива фактически выполненного объёма тонно-километровой работы вагона, а также совершенствование системы диагностирования для индивидуального подхода при прогнозировании остаточного ресурса и ремонте грузовых и пассажирских вагонов.

В настоящее время в Республике Беларусь согласно Положению «**О системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении**», утвержденному Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества (протокол от 16-17 октября 2012 г. № 57), установлена система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов (далее – вагонов) независимо от формы их собственности, приписки государств-участников Содружества, Грузии, Латвийской Республики, Литовской Республики, Эстонской Республики, допущенных к эксплуатации на путях общего пользования в международном сообщении, и является обязательным для применения работниками всех государств, причастными к эксплуатации, ~~техническому обслуживанию и ремонту вагонов~~ обслуживания и ремонта вагонов предусматривает следующие виды технического обслуживания и ремонта:

- техническое обслуживание – ТО;
- техническое обслуживание с диагностированием – ТОД;
- текущий отцепочный ремонт (ТР), подразделяющийся на ТР-1 и ТР-2;
- деповской ремонт – ДР;
- капитальный ремонт – КР;
- капитальный ремонт с продлением срока службы – КРП.

Техническое обслуживание вагона (ТО) – комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности вагона в сформированных или транзитных поездах, а также порожнего вагона при подготовке к перевозкам без его отцепки от состава или группы вагонов. *Техническое обслуживание с диагностированием (ТОД)* – комплекс операций по инструментальному контролю технического состояния составных частей вагона с использованием диагностических средств, переводом вагонов в нерабочий парк и подачей на специализированные пути. ТОД является неплановым техническим обслуживанием, постановка на которое осуществляется по специальному представлению (решению) управляющих органов инфраструктуры – железнодорожной администрации или других, на которые, в соответствии с национальным законодательством, возложены обязанности по контролю за обеспечением безопасности эксплуатации грузового вагонного парка. Необходимость производства

ного парка. Необходимость производства ТОД определяется по результатам эксплуатации вагонов или их составных частей при выявлении случаев нарушения технологии изготовления/ремонта, влекущих за собой возникновение внезапных отказов составных частей вагонов, определяющих безопасность их эксплуатации.

Текущий отцепочный ремонт вагона (ТР) – ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности вагона с заменой или восстановлением отдельных составных частей, отцепкой от состава или группы вагонов, переводом в нерабочий парк и подачей на специализированные пути. По состоянию грузового вагона, месту обнаружения его отказа и отцепки, текущий отцепочный ремонт подразделяется на *текущий отцепочный ремонт вагона (ТР-1)* – ремонт порожнего вагона, выполняемый при его подготовке к перевозке с отцепкой от состава или группы вагонов.

– *текущий отцепочный ремонт вагона (ТР-2)* – ремонт с целью восстановления работоспособности груженого или порожнего вагона, с отцепкой от транзитных и прибывших в разборку поездов или сформированных составов. Текущий отцепочный ремонт является неплановым видом ремонта, постановка на который осуществляется без предварительного назначения по техническому состоянию вагона. Случай отцепки вагона в ТР-2 подлежит расследованию порядком, установленным железнодорожной администрацией/владельцем инфраструктуры.

Деповской ремонт вагона (ДР) – ремонт, выполняемый для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса вагона с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры и контролем технического состояния составных частей.

Капитальный ремонт вагона (КР) – ремонт, выполняемый для восстановления исправности полного или близкого к полному восстановлению ресурса вагона с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые. ДР и капитальный ремонты являются плановыми видами, постановка на которые вагонов осуществляется по установленным нормативам.

Капитальный ремонт с продлением срока службы (КРП) – контроль технического состояния всех несущих элементов конструкции вагона с восстановлением их назначенного ресурса, заменой или восстановлением любых его составных частей, включая базовые, и назначением нового срока службы. КРП является неплановым (без предварительного назначения) и осуществляется по техническим условиям, согласованным установленным порядком.

Неисправными считаются вагоны, которые по своему техническому состоянию не могут быть допущены к эксплуатации на железнодорожные пути общего пользования. Неисправность вагона устанавливается работниками инфраструктуры – железнодорожной администрации или другими работниками, на которых в

железнодорожной администрации или другими работниками, на которых в соответствие с национальным законодательством, возложены обязанности по техническому обслуживанию и контролю технического состояния вагонов.

Нормативы периодичности производства плановых видов ремонта вагонов установлены по критерию календарной продолжительности эксплуатации вагона от постройки (капитального ремонта) до момента подачи вагона в первый (последующий) капитальные ремонты.

Нормативы периодичности производства деповских ремонтов устанавливаются по выбору юридического или физического лица, владеющего вагоном на праве собственности или на любом ином правовом основании (далее – владелец), по одному из критериев:

– комбинированному, одновременно учитывающему фактически выполненный объем работ, выраженный в километрах пробега вагона, и календарную продолжительность, выраженную в годах использования вагона от постройки (планового ремонта) до момента подачи вагона в первый (последующий) плановый ремонт, при этом вагон выводится в ремонт при достижении одного из двух указанных показателей;

– единичному календарной продолжительности эксплуатации вагона, выраженной в годах, от постройки (планового ремонта) до момента подачи вагона в первый (последующий) плановые ремонты.

Комбинированный критерий применяется для четырех- и восьмиосных вагонов с восьмизначной нумерацией, используемых для перевозки грузов, свойственных их моделям и конструктивным особенностям, зарегистрированных установленным порядком в Автоматизированном банке данных парка грузовых вагонов ИВЦ ЖА (далее АБД ПВ) и допущенных по решению владельца инфраструктуры / железнодорожной администрации к эксплуатации по системе технического обслуживания и ремонта с учетом фактически выполненного объема работ..

Отсчет межремонтного норматива (комбинированного или единичного) начинается, соответственно, с момента изготовления, производства плановых видов ремонта или ремонта с продлением срока службы, документально оформленного в установленном порядке.

Использование вагона (порожного / груженого) в рабочем парке с достигнутым межремонтным нормативом (комбинированным или единичным) не допускается. Допускается использовать вагоны с истекшим сроком капитального ремонта для перевозки грузов до истечения межремонтного норматива от последнего деповского ремонта, с последующим обязательным направлением грузового вагона в капитальный ремонт. Вагоны-зерновозы, используемые для перевозки гранулированных удобрений и перенумерованные в парк минераловозов, подаются в плановые виды ремонта по нормативам ремонта вагонов-минераловозов. Нормативный срок службы для таких вагонов установлен 26 лет.

Вагоны-зерновозы, используемые для перевозки цемента и перенумерованные в парк цементовозов, подаются в плановые виды ремонта по нормативам ремонта вагонов хоппер-цементовозов. Нормативный срок службы для таких вагонов установлен 26 лет.

При переоборудовании вагона из одного рода (типа) в другой, имеющий пониженные значения межремонтных нормативов и/или назначенного срока службы по сравнению с базовой моделью, вагону устанавливаются пониженные значения межремонтных нормативов и/или назначенного срока службы. При внесении заводом-изготовителем изменений в Технические условия на вагон, касающихся расширения номенклатуры допущенных к перевозке в нем грузов, имеющих повышенный класс опасности или степень коррозионной активности, значения межремонтных нормативов и/или назначенного срока службы устанавливаются в соответствии с грузом, имеющим повышенный класс опасности или степень коррозионной активности. В случае изменения межремонтных нормативов модели вагона присваивается новая модификация.

Вагонам после производства КРП, выполненного по утвержденным Техническим условиям, кроме восьмиосных цистерн для бензина и светлых нефтепродуктов, первый и последующие деповские и капитальные ремонты производятся по нормативам, установленным от последнего капитального ремонта. Восмиосные цистерны для бензина и светлых нефтепродуктов подлежат деповскому ремонту после производства КРП, выполненного по утвержденным Техническим условиям, только по критерию календарной продолжительности эксплуатации, с производством капитальных и деповских ремонтов согласно установленным требованиям.

Вагоны с продленным сроком службы после производства деповского ремонта (ДР), выполненного по результатам технического диагностирования, подлежат очередным плановым ремонтам только по критерию календарной продолжительности эксплуатации вагона в соответствии с установленными требованиями.

Тележки вагонов колеи 1435 мм, находящиеся в эксплуатации на приграничных дорогах и паромных переправах и используемые для эксплуатации вагонов колеи 1520 мм на колее 1435 мм, подлежат ремонту в объеме деповского один раз в три года, а тележки, находящиеся в запасе, – по указанию соответствующих органов управления инфраструктуры / железнодорожной администрации или других, на которые, в соответствии с национальным законодательством возложены обязанности по контролю за обеспечением безопасности эксплуатации грузового вагонного парка.

Управляющие органы инфраструктуры / железнодорожной администрации или другие, на которые, в соответствии с национальным законодательством, возложены обязанности по обеспечению безопасности эксплуатации грузового вагонного парка вправе устанавливать периодичность плановых видов ремонта вагонов «своей» приписки (включая вагоны резидентов) при условии, что численные значения ее нормативов не превышают установленных. При нарушении данного

ленных. При нарушении данного условия вагоны подлежат использованию только во внутригосударственном обращении.

В случае, если в Технических условиях на вагон, согласованных решением Комиссии полномочных представителей вагонного хозяйства железнодорожных администраций стран – участниц Соглашения, указаны межремонтные нормативы и/или назначенный срок службы, не соответствующие установленным численным значениям, значения межремонтных нормативов и/или назначенного срока службы для данной модели вагона устанавливаются (в том числе в информационных системах ИВЦ ЖА) в соответствии с Техническими условиями на вагон.

Вагонные депо предназначены для выполнения плановых видов ремонта вагонов, ремонта и комплектовки вагонных узлов и деталей. На базе вагонных депо организуют и обеспечивают подготовку к перевозкам, а также техническое обслуживание подвижного состава в границах установленных участков. Вагонные депо могут быть грузовыми, рефрижераторными, а также специализированными для ремонта контейнеров.

Вагонные депо по своим функциям могут быть ремонтными и эксплуатационными.

Депо по ремонту грузовых вагонов обычно размещают на станциях массовой погрузки, выгрузки и сортировочных станциях. Как правило, они специализированы на ремонте вагонов одного типа (например, цистерн, крытых, полувагонов и т.д.). Депо для ремонта цистерн организуют на станциях, к которым примыкают промывочно-пропарочные предприятия.

В соответствии с Правилами технической эксплуатации железных дорог Республики Беларусь (ПТЭ) на станциях формирования и расформирования, а в пути следования – на станциях, предусмотренных графиком движения поездов, каждый вагон поезда должен пройти техническое обслуживание и при выявлении неисправностей – отремонтирован.

На станциях, где нет пунктов технического обслуживания, каждый вагон перед постановкой в поезд должен быть осмотрен и подготовлен для следования до ближайшей станции, имеющей пункт технического обслуживания (ПТО). О признании их годными должна быть произведена запись в специальном журнале. В соответствии с типовым технологическим процессом технического обслуживания грузовых вагонов по видам технического обслуживания и характеру работы П Т О п о д р а з д е л я ю т с я:

– на *пункты подготовки вагонов к перевозкам (ППВ)*, размещаемые на станциях массовой погрузки, выгрузки и формирования маршрутов. Специализация пунктов устанавливается по типу подготавливаемых вагонов к перевозкам. На указанных пунктах производится контроль технического состояния и ремонт с устранением всех технических неисправностей вагонов для обеспече-

ния проследования их без отцепки от поездов по гарантийным участкам и сохранности перевозимых грузов до места назначения. Количество пунктов и их производительность на дороге определяется в зависимости от плана погрузки и задания по сдаче порожних вагонов по регулировочным заданиям;

– *пункты технического обслуживания вагонов (ПТО), размещаемые на сортировочных и участковых станциях* по установленному начальником дороги перечню для выявления и устранения технических неисправностей вагонов в формируемых и транзитных поездах и обеспечения проследования поездов без технического обслуживания и ремонта вагонов на гарантийных участках;

– *пункты контрольно-технического обслуживания вагонов (ПКТО), размещаемые на участковых станциях, где производится смена локомотивов, и станциях, предшествующих перегонам с затяжными спусками, для выявления и устранения технических неисправностей вагонов, угрожающих безопасности движения поездов;*

– *контрольные посты (КП), размещаемые на станциях с интенсивным безостановочным движением для выявления на ходу поезда вагонов с перегретыми буксами, ползунами и другими неисправностями, угрожающими безопасности движения поездов;*

– *посты опробования тормозов (ПОТ) на станциях, где отсутствуют ПТО, но производится смена локомотивных бригад;*

– *пункты технической передачи (ПТП) для выявления и устранения повреждений вагонов при производстве погрузочно-разгрузочных операций и маневровых работ на подъездных путях промышленных и строительных предприятий, речных и морских портов.*

Размещение ППВ, ПТО, ПКТО утверждается начальниками железных дорог. КП, ПОТ и ПТП организуются начальниками отделений дорог и утверждаются начальником железной дороги.

Вагонное депо является важным объектом станционного хозяйства, обеспечивающего выполнение планового ремонта вагонов, ремонта и комплектровки вагонных узлов и деталей. Все объекты вагонного хозяйства на участках обслуживания принадлежат депо. На депо возложены все обязанности по техническому обслуживанию вагонов на этих участках: контроль за обеспечением безопасности движения по вагонному хозяйству, соблюдением графика движения поездов и за сохранностью вагонного парка; все технические операции с вагонами: подготовка к перевозкам, проверка технического состояния, их (осмотр) перед прицепкой к поездам, опробование тормозов, решение вопросов об отцепке неисправных вагонов в пути следования, производство текущего отцепочного ремонта, а в случае вынужденной остановки поезда из-за неисправности вагона на перегоне – решение о выводе вагона на станцию.

Подразделения по техническому обслуживанию и текущему ремонту ва-

гонов в поездах, как было сказано выше, принадлежат депо и сосредоточены на сортировочных и участковых станциях. На сортировочных станциях формируют поезда, часть прибывающих поездов расформируют, часть пропускают транзитом. На сортировочных станциях предусмотрены технические операции, в том числе техническое обслуживание вагонов. В переформируемых поездах производят техническое обслуживание вагонов по прибытии и перед отправлением. Вагоны, требующие отцепочного ремонта, должны быть выявлены и направлены в ремонт. В транзитных поездах производят техническое обслуживание вагонов и подготовку их к отправлению.

Схема ПТО связана со схемой сортировочной станции. Используются следующие основные типы сортировочных станций:

- двухсторонние с отдельными парками приема, сортировочными, отправления и транзитными;
- двухсторонние с отдельными парками без транзитных парков;
- с совмещенными парками: сортировочным и отправления (отправление поездов производится из сортировочного парка);
- без отдельных парков.

На *двухсторонних сортировочных станциях с отдельными парками* обычно имеются два ПТО по системам парков: четной и нечетной (рисунок 1.2).

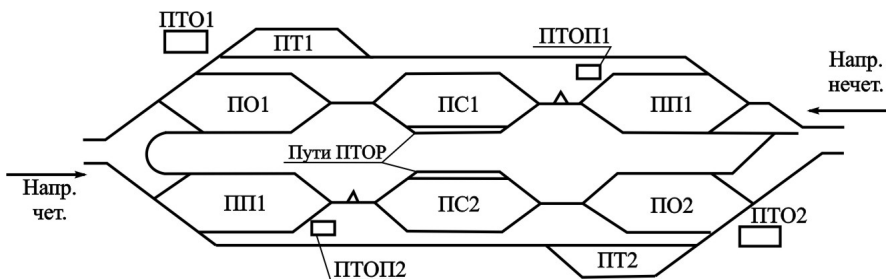


Рисунок 1.2 – Схема двухсторонней сортировочной станции:

парки: ПП – прибытия; ПС – сортировочные; ПО – отправления; ПТ – транзитные; ПТОР – пути пункта текущего ремонта вагонов. Цифрой 1 обозначены парки нечетной системы, цифрой 2 – четной; ПТО1, ПТО2 – основные помещения ПТО нечетной и четной систем; ПТОП1, ПТОП2 – помещения ПТО в парках прибытия

На сортировочных станциях с совмещенными парками нет парков отправления. Сформированные поезда отправляют из сортировочного парка. Там же производится их техническое обслуживание.

На сортировочных станциях без отдельных парков специализированы пути прибытия, отправления и сортировочные. Техническое обслуживание вагонов производится на соответствующих путях.

На станциях, отправляющих поезда на несколько направлений, пути отправления специализируют по направлениям.

Для станций с совмещенными парками разработана система мероприятий по обеспечению техники безопасности для бригад, занятых техническим обслуживанием вагонов.

На двухсторонних сортировочных станциях без транзитных парков транзитные поезда принимают на специализированные пути парка отправления, обычно на боковые. На электрифицированных направлениях эти пути оснащены контактным проводом, что необходимо учитывать при организации технического обслуживания вагонов.

Специализация путей в парках станции указывается в технико-распорядительном акте станции (ТРА), в местных инструкциях и технологических процессах.

В соответствии с типовым технологическим процессом технического обслуживания грузовых вагонов по видам технического обслуживания и характеру работы ПТО подразделяются на *пункты подготовки вагонов к перевозкам (ППВ)*, размещаемые на станциях массовой погрузки, выгрузки и формирования маршрутов. Специализация пунктов устанавливается по типу подготавливаемых вагонов к перевозкам. В зависимости от объема выполняемой работы пункты классифицируются на три категории, указанные в таблице 1.9. Количество пунктов и их производительность на дороге определяется в зависимости от плана погрузки и задания по сдаче порожних вагонов по регулировочным заданиям.

Таблица 1.9 – Классификация пунктов подготовки вагонов к перевозкам

Наименование пунктов (по типам подготавливаемых вагонов к перевозкам)	Производительность пунктов (вагонов в сутки) по категориям		
	I	II	III
Пункты подготовки полувагонов и платформ (ППВ)	Более 500	300–500	100–300
Пункты комплексной подготовки крытых и изотермических вагонов (ПКПВ)	” 100	50–100	До 50
Промывно-пропарочные станции и пункты подготовки цистерн (ППС)	” 500	300–500	” 300

К наиболее распространенным относятся крупные механизированные пункты подготовки к перевозкам полувагонов и платформ (МППВ). Пункт подготовки первой категории представляет парк станции, включающий пять – семь путей, специализированных по видам работ (рисунок 1.3).

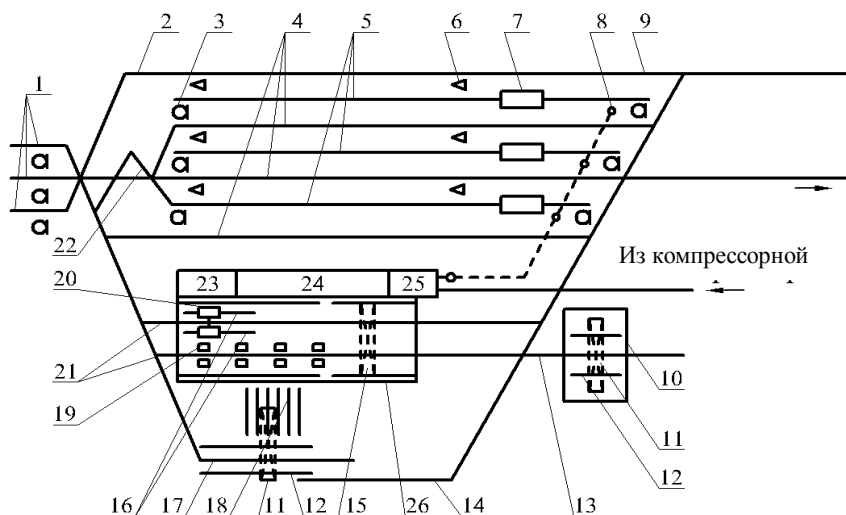


Рисунок 1.3 – Схема механизированного пункта подготовки к перевозкам полувагонов и платформ:

пути: 1 – парка приема; 2 – используемый совместно ПТО и станций; 4 – технического обслуживания; 5 – узкоколейные для ремонтных агрегатов; 9 – очистки вагонов; 12 – козловой крана; 13 – разделки вагонов в металлолом; 14 – вытяжки; 16 – вагоноремонтных машин; 17 – погрузки и выгрузки запасных частей и материалов; 18 – хранения колесных пар; 21 – ТР-1; 22 – самоходного ремонтного агрегата; *устройства:* 3 – сигналы (светофоры) ограждения; 6 – переговорная колонка; 7 – самоходный ремонтный агрегат; 8 – воздухопроводе колонками централизованного опробования тормозов; 11 – козловой кран; 13 – полугорка; 15 – мостовой кран; 19 – домкраты; 20 – вагоноремонтная машина; *здания:* 10 – площадка разделки вагонов в металлолом; 23 – ремонтные отделения; 24 – бытовые помещения; 25 – помещение оператора; 26 – ангар

Как правило, тип парка сквозной, т. е. общее направление движения вагонов – в одну сторону. Вагоны, требующие очистки, по схеме работы станции целесообразно после очистки возвращать в парк приема и затем распускать через горку. На пункте имеется тупик или специальный путь для хранения колесных пар и тележек. Вагоноремонтные машины размещены в помещении для ТР-1, но могут располагаться и на путях подготовки. Для использования вагоноремонтных машин необходимы широкие междупутья (6000 мм), т. к. эти машины передвигаются по собственной рельсовой колее шириной 4500 мм. Пути пункта, специализированные для подготовки вагонов составами или группами, оборудованы централизованной системой ограждения, а со стороны горки должны иметь запорные брусья и сбрасывающие башмаки.

В состав пункта входят служебно-бытовые помещения. На крупных пунктах устроены ремонтные отделения (мастерские): ремонта крышек люков, сварочное, кузнечное, слесарно-механическое. К крупным пунктам целесообразно также привязывать специальные площадки разделки вагонов в металлолом.

Пункты подготовки первой категории потребляют большое количество сжатого воздуха. Поэтому в ряде случаев, в особенности при большом удалении пункта от других подразделений вагонного депо, целесообразно иметь собственную компрессорную станцию. На крупных сортировочных станциях обычно имеются объединенные компрессорные станции, обеспечивающие снабжение сжатым воздухом горючие замедлители, устройства для очистки стрелок от снега, эксплуатационные подразделения локомотивного и вагонного хозяйств.

Вагоны с повреждениями кузова, требующие сварочных работ, лучше всего направлять для ремонта в крытое помещение, т. к. в процессе ремонта на открытых путях не обеспечивается необходимое качество работ. Поэтому в ангаре размещают сварочное оборудование и предусматривают сварочные линии вдоль помещения по обе стороны ремонтных путей.

Пункты комплексной подготовки к перевозкам крытых и изотермических вагонов (ПКПВ) обеспечивают выполнение технических операций по проверке состояния, очистке, промывке, сушке, текущему ремонту, а также пополнению внутреннего оборудования.

Схема пункта первой категории приведена на рисунке 1.4. Пункт включает две поточные линии (два пути): сквозной для производства технического обслуживания и безотцепочного ремонта вагонов, и тупиковый – для ТР-1. Вагоны перемещают по позициям поточных линий с помощью шаговых конвейеров. Передача вагонов с основной поточной линии на линию ТР-1 осуществляется с помощью напольного трансбордера. Основная поточная линия имеет семь позиций. На первых шести позициях производят наружную обмывку, очистку, промывку, сушку кузовов, замену неисправных дверей. На пункте предусмотрено сжигание мусора, накапливающегося при сухой очистке вагонов. В зависимости от местных условий мусор можно утилизировать или захоранивать по системе, действующей в городе размещения пункта. Предусмотрены устройства очистки воды: отстойники, фильтры, баки для флотации и коагуляции. Применяют замкнутый цикл использования технической воды. Ил и примеси, удаляемые из воды при очистке, должны быть утилизированы или захоронены в соответствии с действующими правилами.

Промывно-пропарочные предприятия предназначены для массовой подготовки цистерн к наливу нефтепродуктов и для производства их текущего ремонта, а также для подготовки цистерн к плановому ремонту. Эти предприятия размещают в районах добычи нефти, в местах расположения нефтеперерабатывающих предприятий, в пунктах перевалки наливных грузов с трубопроводного и водного транспорта на железнодорожный.

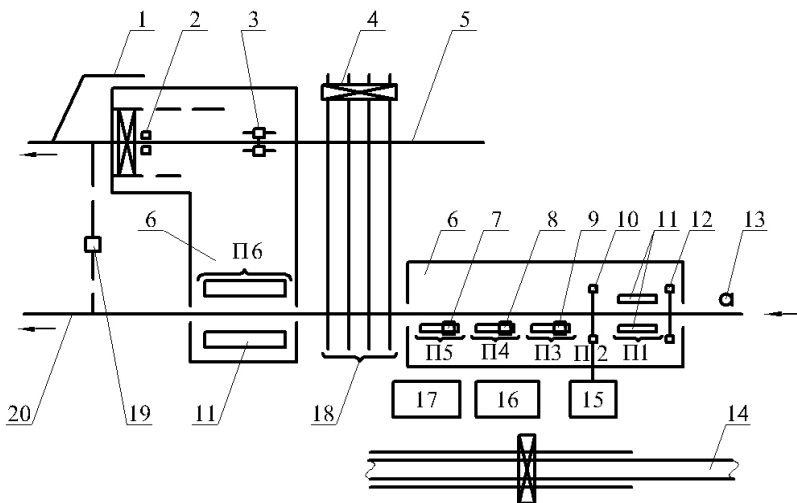


Рисунок 1.4 – Схема пункта первой категории для комплексной подготовки крытых и изотермических вагонов:

пути: 1 – отстоя колесных пар; 5 – текущего отцепочного ремонта; 18 – трансбордера; 20 – технического обслуживания и безотцепочного ремонта; *сооружения:* 6 – ангар; 7 – эстакады;

14 – автомобильная дорога; 15 – ремонтные отделения и служебно-бытовые помещения; 16 – насосная станция и водоочистные устройства; 17 – котельная и мусоросжигательная печь; *оборудование:* 2 – домкраты; 3 – вагоноремонтная машина; 4 – трансбордер; 7 – устройство для сушки кузовов; 8 – машина для внутренней промывки кузовов; 9 – мусоросборочная машина; 10 – устройства для открывания и замены дверей; 12 – установка наружной обмывки вагонов; 13 – сигналы ограждения; 19 – приводная станция конвейера; *позиции поточной линии:*

П1 – наружной обмывки и осмотра; П2 – замены дверей; П3 – внутренней сухой очистки; П4 – внутренней промывки; П5 – сушки; П6 – ремонта кузовов

Промывочно-пропарочная станция (ППС) представляет собой железнодорожную станцию, специализированную на подготовке цистерн к перевозкам. Промывочно-пропарочный пункт занимает один из парков или часть путей станции. Промывочно-пропарочные поезда используют как временные предприятия.

Технология работы ППС достаточно сложна и требует взаимодействия работников ряда служб: перевозок, грузовой, вагонного хозяйства, а также представителей грузоотправителя. Поэтому работа регламентирована единым (общим) типовым технологическим процессом.

Схема пункта подготовки цистерн построена с учетом выделения подготовки цистерн из-под этилированного бензина и битумных вагонов в отдельные производственные участки. Перечень оборудования и его размещения определяются перечнем операций по подготовке цистерн:

- зачистка – удаление остатков грузов;
- пропарка – обработка паром;
- промывка;
- дегазация и сушка;

- протирка;
- проверка на взрывобезопасность;
- заправка клапанов сливных приборов;
- наружная очистка котлов (при подготовке в плановый ремонт);
- текущий безотцепочный и отцепочный ремонты цистерн.

Оборудование ППС должно обеспечивать качественное выполнение подготовки цистерн в соответствии с ГОСТ 1510–76 «Нефть и нефтепродукты» и очистку воды в соответствии с требованиями правил охраны окружающей среды. Схема ППС приведена на рисунке 1.5.

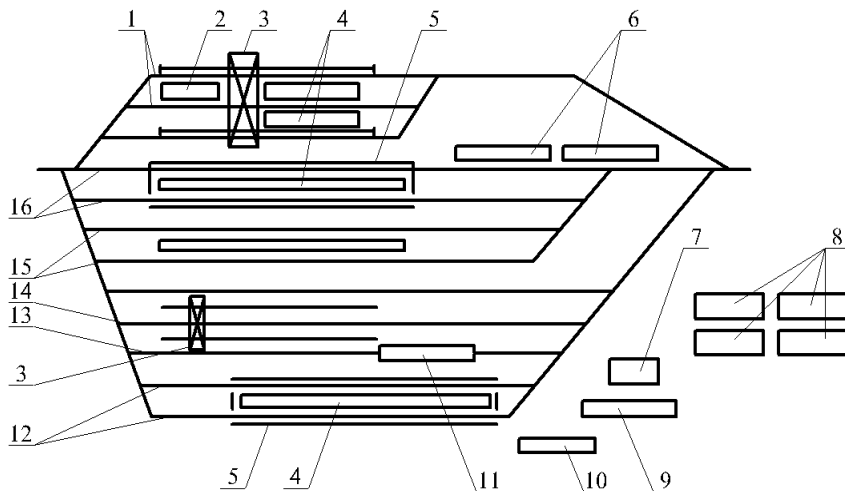


Рисунок 1.5 – Схема промывочно-пропарочной станции:

пути: 1 – для подготовки битумных полувагонов; 12 – обработки цистерн из-под этилированного бензина; 13 – наружной обмывки цистерн; 14 – текущего ремонта; 15 – открытой эстакады; 16 – закрытой эстакады; *сооружения и оборудование:* 2 – камера тепловой обработки бункеров; 3 – козловые краны; 4 – эстакады; 5 – помещение крытой эстакады; 6 – служебно-бытовые помещения; 7 – компрессорная и вакуум-станция; 8 – устройства очистки воды; 9 – теплопункт; 10 – насосная станция; 11 – ангар для наружной обмывки цистерн

Станция, на которой размещен пункт, должна иметь парки приема, отправления и сортировочный или совмещенные парки. Часть цистерн (30–35 %) не требуют подготовки, даже зачистки, и после предварительного осмотра не подаются на ППС; 25–30 % требуют холодной и 25–30 % – горячей обработки, поэтому станция должна быть приспособлена для выполнения большого объема маневровых работ.

Основным оборудованием ППС являются эстакады, обычно двухсторонние, открытые и крытые (в помещениях). Эстакада представляет собой платформу, поднятую на высоту 3400 мм над уровнем головок рельсов, с

которой производят все операции по очистке, промывке и пропарке котлов цистерн.

Промывочно-пропарочные станции имеют обширное и сложное хозяйство для обеспечения технологических процессов подготовки цистерн под налив:

- тепlopункты или котельные для производства пара и горячей воды (расход на одну цистерну: пара – от 50 до 480 кг, воды – 12 м³);

- компрессорные станции (расход воздуха в свободном объеме для дегазации одной цистерны до 2400 м³);

- тепловые камеры для очистки битумных полувагонов;

- вакуумные станции;

- устройства для очистки воды;

- камеры для наружной обмывки вагонов;

- площадки для ремонта бункеров битумных полувагонов;

- химические лаборатории;

- пути текущего отцепочного ремонта вагонов (ТР-1);

- пункты технического обслуживания вагонов (ПТО), размещаемые на сортировочных и участковых станциях по установленному начальником дороги перечню для выявления и устранения технических неисправностей вагонов в формируемых и транзитных поездах и обеспечения проследования поездов без технического обслуживания и ремонта вагонов на гарантийных участках. Технология работ по техническому обслуживанию вагонов по прибытии, перед отправлением и в транзитных поездах одинакова, независимо от типа сортировочной станции, и регламентирована типовым технологическим процессом технического обслуживания вагонов. Поэтому рассмотрена технология и организация технического обслуживания вагонов на примере двухсторонней сортировочной станции.

В каждом из парков прибытия и отправления работает отдельная бригада (иногда 2–3 бригады) со своим оператором, который руководит работой бригад. Один из осмотрщиков назначается старшим (неосвобожденным) и координирует работу групп. На крупных ПТО работой смены в системе руководит сменный мастер.

В парке прибытия предусмотрено выполнение следующих операций:

- встреча прибывающего поезда и осмотр его на ходу для лучшего выявления некоторых неисправностей (ползуны на колесах, волочащиеся дета-ли);

- осмотр вагонов для оценки технического состояния, выявления вагонов, требующих отцепочного ремонта, выявление и разметка мелом неисправностей, устраняемых безотцепочным ремонтом;

- разрядка автотормозов.

В сортировочном парке работают 2–3 осмотрщика, в обязанности которых входит выявление повреждений вагонов при сортировке и контроль за неподходом (разницы по высоте) автосцепок соседних вагонов.

После остановки поезда и отцепки локомотива состав с головы и хвоста ограждается с централизованного пункта сигналами остановки. Об ограждении состава оператор уведомляет группы по громкоговорящей связи. При отсутствии централизованной системы сигналы ограждения поездов устанавливаются по указанию руководителя работ специально назначенными работниками смены ПТО.

При техническом обслуживании вагонов в составе поезда, от которого локомотив по прибытию на станцию не отцепляется, ограждение его производится с головы и хвоста поезда в установленном порядке. Инструкцией по сигнализации на Белорусской железной дороге сигналы ограждения подвижного состава на станционных путях должны устанавливаться на расстоянии 50 м от ограждаемого состава, а если расстояние от крайнего до предельного столбика менее 50 м, – то у предельного столбика.

В парках отправления и прибытия используется двухсторонняя парковая связь для переговоров ремонтно-смотровых бригад ПТО с оператором, оператора с дежурным по парку и с дежурным по станции. Колонки оповестительно-переговорной связи, размещенные на междупутьях, включаются в общую систему парковой двухсторонней связи. Устройства связи позволяют оператору или включаться только для переговоров с персоналом, использующим колонки, или включать сеть парковых репродукторов для указаний, относящихся ко всем работающим в парке. Широкое распространение для связи осмотрщиков вагонов с оператором ПТО получили носимые радиостанции.

Для зарядки и опробования автотормозов в парках отправления используются автоматизированные системы. В настоящее время применяется оборудование: УСОР (устройство опробования тормозов); УЗОР-Р (устройство зарядки и опробования тормозов с регистрацией результатов). Блоки управления (по количеству оборудованных путей) размещаются на столе оператора ПТО, исполнительные органы – в специальном неотапливаемом помещении (рядом с помещением оператора), а на междупутья отправочных путей выведены колонки с концевым краном и рукавом для присоединения к поездной магистрали состава вагонов. Команды оператору ПТО осмотрщики-автоматчики передают через колонки двухсторонней связи или по радио.

На пунктах технического обслуживания вагонов предусмотрено оборудование: электросварочное, станочное, слесарно-механическое, транспортное, для зарядки аккумуляторных фонарей. Это оборудование используют для ремонта мелких деталей вагонов, в основном для содержания технологического оснащения ПТО.

В парках приема, отправления и транзитных имеются служебно-бытовые помещения, помещения операторов ПТО, помещения отдыха и обогрева бригад, а в парках отправления и транзитных – мастерские, инструментальные отделения, включая помещения для зарядки аккумуляторов фонарей и носимых радиостанций. Должны быть предусмотрены помещения для при-

ема пищи, гардеробные, сушилки, душевые, туалеты. Поперек парков, обычно в горловинах, устраивают служебные переходы с твердым покрытием. Парки приема, отправления и транзитные оснащены оборудованием для технического обслуживания вагонов. Устройства вагонного хозяйства в парках каждой системы входят в один пункт – нечетный или четный, так как связаны общей технологией работы сортировочной станции.

Для производства текущего отцепочного ремонта вагон переводят в нерабочий парк (выдают уведомление на отцепку формы ВУ-23). Ремонт следует производить на специально оборудованных путях с обеспечением безопасных условий труда и механизации. Поэтому на сортировочных и участковых станциях оборудуют специальные пункты текущего отцепочного ремонта (ПТОР): механизированные (МПРВ) на путях сортировочного парка, на специализированных путях или в тупиках либо в депо на участке текущего ремонта. В пунктах, производящих подготовку вагонов к перевозкам, предусмотрены специальные участки ТР-1.

Отцепка вагона на промежуточных станциях, не имеющих путей, оборудованных для ремонта вагонов, ремонт с подъемкой, например для смены колесной пары, превращается в сложную проблему. Ремонт производит специальная бригада, выезжающая на автодрезине с краном. На автодрезину грузят колесные пары, домкраты и необходимые приспособления и инструменты.

На крупных сортировочных станциях практикуют выделение специализированных путей в сортировочном парке, в основном для работ по ремонту автосцепного оборудования (смена корпусов, механизма и расцепного привода). На этих же путях можно производить замену триангелей, башмаков и другие работы, не требующие подъемки вагонов. Использование специализированных путей позволяет существенно сократить простой вагонов в ремонте, а также расширить перечень неисправностей, устраняемых текущим ремонтом. Количество вагонов, требующих подачи на специализированный путь, составляет до 20–30 % общего поступления в ТР-2.

Схема пункта текущего отцепочного ремонта приведена на рисунке 1.8. Вагоны перемещают через пункт в одном направлении. Поступающие через сортировочную горку вагоны накапливают на участках путей перед запорными брусками. Продвижение вагонов через ангар производят с помощью канатного конвейера. Со стороны, противоположной горке, работает маневровый мотовоз. Пути ПТОР следует специализировать: один – для подъемки вагонов, второй – для ремонта кузовов.

Участок текущего ремонта вагонов на территории ремонтного депо обычно размещают перед помещением сборочного участка. В некоторых депо для обслуживания участка текущего ремонта используют мостовой кран на колоннах. Подача и уборка вагонов осуществляется маневровым локомотивом.

Простой вагонов в текущем ремонте, а также остаток вагонов в ремонте (на конец отчетных суток) нормированы. Ремонт выполняет бригада под

руководством мастера или бригадира. Численный состав бригады определяют в зависимости от объема работ.

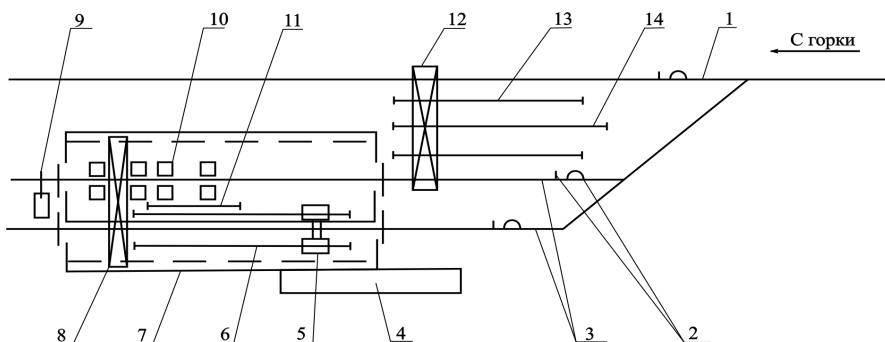


Рисунок 1.8 – Схема пункта текущего отцепочного ремонта вагонов на крупной сортировочной станции:

- 1 – специализированный путь; 2 – запорный брус и сбрасывающий башмак; 3 – ремонтные пути; 4 – ремонтные отделения и служебно-бытовые помещения; 5 – вагоноремонтная машина;
- 6 – путь вагоноремонтной машины; 7 – крытое помещение для ремонта вагонов (ангар);
- 8 – мостовой кран; 9 – тяговая станция конвейера; 10 – домкраты; 11 – путь ремонта тележек;
- 12 – козловой кран; 13 – путь козлового крана; 14 – путь хранения колесных пар тележек

Технологией текущего ремонта предусмотрено устранение всех неисправностей вагона, а не только неисправностей, по которым был отцеплен вагон. Приемку вагонов из ремонта производят мастер, бригадир, а там, где предусмотрено, – приемщик вагонов. На отремонтированные вагоны они выдают станции и диспетчеру депо уведомление об окончании ремонта формы ВУ-36, на основании которого их снимают с учета неисправных и перечисляют в рабочий парк. На торцевых стенах или концевых балках наносят трафарет о текущем ремонте (дата, условный номер депо).

Работа ПТОР регламентирована технологическим процессом текущего отцепочного ремонта вагонов, а также технологическим процессом станции и техническо-распорядительным актом станции.

Пути текущего отцепочного ремонта вагонов могут иметь слесарно-механический, электрогазосварочный и столярный участки. Для размещения производственных участков, а также для текущего ремонта вагонов с подъемкой предусмотрены специальные помещения и крытый ангар или специализированная площадка. Для оснащения производственных участков предусмотрены станки: колесотокарный, токарный по металлу, сверлильный; круглопильные для продольной и поперечной распиловки пиломатериалов.

Ангар или специализированная площадка для подъёмки вагонов оборудованы: электродомкратами для подъёмки вагонов; электролебедками или другими транспортными средствами для передвижки вагонов; передвижными (самоходными) вагоноремонтными машинами; козловыми кранами или кран-балками для транспортировки колесных пар; электросварочными линиями; комплектами электрифицированного или пневматического слесарного и столярного инструментов; транспортными вагоноремонтными установками вдоль специализированных путей для ремонта вагонов.

Пункты текущего отцепочного ремонта вагонов должны иметь:

- производственно-бытовые помещения с отоплением, водоснабжением и канализацией;
- компрессорную или систему обеспечения сжатым воздухом из компрессорной сортировочной станции или депо;
- общее освещение вдоль ремонтных путей;
- транспортные проезды с твердым покрытием;
- тупики для колесных пар;
- систему ограждения ремонтных путей;
- устройства технологической связи с оператором сортировочной горки, с технологическим центром станции и диспетчером депо;
- кладовые.

Инфраструктура ПТОР в общем должна быть достаточно развитой и сложной. Если ПТОР размещен на путях ремонтного вагонного депо, ремонтные позиции текущего ремонта вагонов находятся на ремонтных путях перед вагонооборочным участком депо или на путях, параллельных главному производственному корпусу депо. Инфраструктура, относящаяся к ПТОР, снабжение запасными частями, маневровые передвижения вагонов, технологическое оборудование входят в систему хозяйства депо. Приемку вагонов при выпуске их из текущего ремонта осуществляют приемщики вагонов. Сообщения о текущем отцепочном ремонте передаются по каналам связи в главный вычислительный центр для учета по каждому вагону.

Пункты контрольно-технического обслуживания вагонов (ПКТО) размещают на технических станциях (сортировочных и участковых), где производится смена локомотива, а также на станциях, предшествующих затяжным спускам, где предусмотрена остановка поездов по техническим причинам (по перечню, устанавливаемому начальником дороги). Основной задачей ПКТО является выявление и устранение неисправностей, угрожающих безопасности движения поездов, а на станциях перед затяжными спусками – полное опробование тормозов с выдержкой в заторможенном состоянии. В состав ПКТО включают путь или тупик, оборудованный для производства текущего ремонта вагонов (ТР-2).

Технический контроль вагонов в поездах на пунктах контрольно-технического обслуживания вагонов (ПКТО) производят бригадой, состоя-

щей не менее чем из двух групп во время стоянки состава, предусмотренной графиком движения. Обычно каждая группа состоит из двух осмотровиков-ремонтников, одновременно совмещающих работу слесарей по ремонту вагонов. Они выполняют операции по проверке технического состояния вагонов, устранению выявленных неисправностей и полному опробованию автотормозов с выдачей справки о тормозах формы ВУ-45. Один из осмотровиков-ремонтников вагонов назначается старшим по смене. Работой ПКТО руководит мастер или старший осмотрщик вагонов. Работа ПКТО отличается от работы пункта технического обслуживания на сортировочной станции тем, что ремонтная бригада ПКТО сосредотачивает свое внимание на выявлении и устранении неисправностей, угрожающих безопасности движения. С этой целью на подходах к станции устанавливают аппаратуру для бесконтактного обнаружения перегретых букс (КТСМ).

Схема технического оснащения ПКТО приведена на рисунке 1.9.

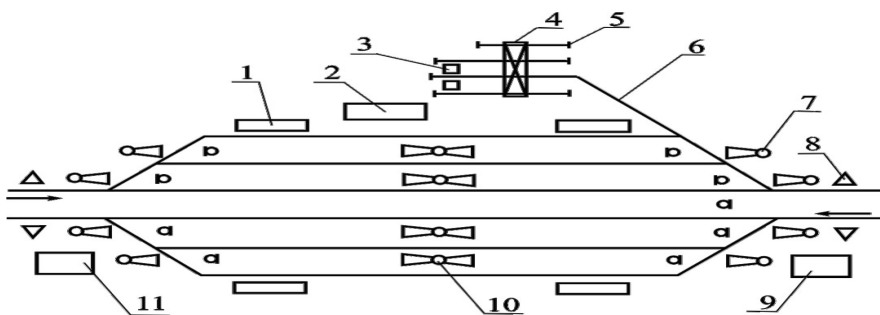


Рисунок 1.9 – Схема технического оснащения пункта контрольно-технического обслуживания вагонов:

- 1 – стеллажи для запасных частей; 2 – здание ПТО (служебно-бытовые помещения);
- 3 – домкраты; 4 – козловой кран; 5 – путь для хранения колесных пар; 6 – тупик для ТР-2; 7, 8 – прожекторы; 9, 11 – помещения для обогрева и отдыха бригад
- 10 – колонки переговорно-оповестительной связи;

При наличии в составе вагонов, требующих текущего отцепочного ремонта, выдается уведомление формы ВУ-23. После окончания обработки состава старший осмотрщик сообщает дежурному по станции о готовности поезда к отправлению. Продолжительность технического обслуживания вагонов в транзитных поездах не должна превышать при смене локомотивных бригад 20 мин, а при смене локомотива – 30 мин.

Контрольные посты (КП) для двустороннего контроля технического состояния вагонов во время движения организуются на участках с интенсивным поездопотоком с целью выявления греющихся букс, ползунов и других неисправностей, угрожающих безопасности движения поездов. Для этого на

подходах к контрольному посту должна быть установлена аппаратура КТСМ. Схема технического оснащения КП приведена на рисунке 1.10.

Работники поста (расположенного при входе на станцию) несут сменное дежурство круглосуточно и для оперативной связи с локомотивом обеспечиваются радиостанциями. При обнаружении в составе греющейся буксы, ползуна или других неисправностей осмотрщик вагонов обязан по радиостанции или через дежурного по станции вызвать машиниста локомотива и потребовать от него немедленной остановки поезда. После остановки поезда неисправность, угрожающая безопасности следования, должна быть выявлена и приняты все меры к ее устранению осмотрщиками вагонов контрольного поста. Осмотрщики вагонов несут ответственность за дальнейшее безопасное следование вагона до пункта технического обслуживания. В случае отцепки неисправного вагона осмотрщики обязаны опробовать автотормоза в составе и сделать соответствующую отметку в справке о тормозах, находящейся у машиниста локомотива.

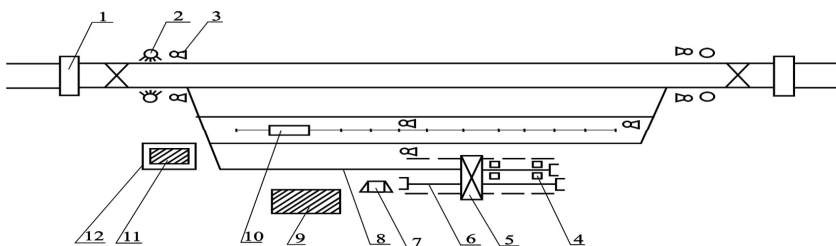


Рисунок 1.10 – Схема технического оснащения контрольного поста (КП):

- 1 – перегонные средства диагностирования; 2 – прожекторы; 3 – колонки двухсторонней парковой связи; 4 – стационарные домкраты; 5 – кран-балка; 6 – тупик для хранения колесных пар; 7 – стеллаж для запасных частей и материалов; 8 – тупик текущего ремонта; 9 – помещение обогрева ремонтно-смотровой бригады; 10 – ремонтная установка; 11 – дрелина с ручным приводом (применяется при отсутствии ремонтной установки);
12 – площадка для стоянки ручной дрелины

Контрольные посты должны быть оснащены прожекторными установками, стеллажами для хранения запасных частей, подъемными средствами для смены колесных пар и другими деталями. Кроме того, должны быть помещения для обогрева и кратковременного отдыха рабочих.

После перевода вагонов на роликовые подшипники роль, назначение и практика использования КП существенно изменились. Большинство КП работает в режиме ожидания редких событий, выявляя единичные случаи появления опасных дефектов в течение года. Поэтому наблюдается тенденция объединения контрольных постов в автоматизированные системы, используя возможности подсистемы КТСМ (системы РИСК-Т, АСК ПС). В этих

системах аппарата КП соединена с центральным постом на узловой сортировочной станции, а на станциях размещения КП нет работников вагонного хозяйства.

Посты опробования тормозов (ПОТ) размещены на удлинённых участках обращения локомотивов (более 600 км) на одной из станций, где производится смена локомотивных бригад, но нет ПТО. Назначение – полное опробование тормозов от локомотива и выдача справки о тормозах ф. ВУ-45. Производится также контрольный осмотр вагонов и устраняются возникшие неисправности, угрожающие безопасности движения поездов. В состав бригады включают не менее двух осмотровиков-ремонтников, которые, кроме опробования автотормозов, контролируют техническое состояние вагонов и выполняют необходимый ремонт. На постах должны быть запасные части и материалы. На вагоны, требующие отцепки, выдают уведомление формы ВУ-23, на основании которого их отправляют в ближайший ремонтный пункт. Схема технического оснащения ПОТ аналогична схеме ПКТО.

В пути следования за поездами ведется контроль с помощью средств диагностики и визуальный работниками всех служб железнодорожного транспорта, поэтому в системе обеспечения безопасности движения используется понятие «п о с т ы б е з о п а с н о с т и» (ПБ). Они могут быть стационарными, временными и передвижными. На *передвижных* постах безопасности производится контроль за техническим состоянием вагонов поездными бригадами встречных или обгоняемых локомотивов или другого самоходного подвижного состава.

К *временным* постам безопасности можно отнести контроль за проходящими поездами со стороны работников пути, сигнализации и связи, энергоучастков и других служб железнодорожного транспорта, выполняющих ремонтные, строительные или монтажные работы на перегонах или станциях.

При выявлении неисправностей работники, их обнаружившие, по централизованной или другим видам связи обязаны немедленно сообщить об этом дежурному ближайшей станции или поезвному диспетчеру. В сообщении указывается: наименование выявленной неисправности; номер поезда, время прохождения участка или другие сведения, позволяющие этот поезд отличить от других; тип вагона; сторона нахождения неисправности; другие сведения, обеспечивающие поиск неисправного вагона в остановившемся поезде.

На временных и передвижных постах безопасности контролируются: выход за габариты подвижного состава деталей вагонов, грузов, элементов крепления грузов; перекосы или уширение кузова вагона; ползуны или навары на колесных парах (по характерному стуку); заторможенные колесные пары; другие неисправности, угрожающие жизни пассажиров, безопасности движения поездов, сохранности перевозимых грузов, экологии окружающей среды или техническим устройствам железной дороги.

Стационарные посты безопасности оборудуются на переездах, станциях или других участках железной дороги, на которых имеются стационарные дежурные помещения вблизи железнодорожного полотна. Посты безопасности располагаются поочередно с каждой стороны железнодорожных путей. Места расположения стационарных постов безопасности утверждаются руководством дороги по представлению службы вагонного хозяйства.

Контроль за проходящими поездами на постах безопасности производится круглосуточно и возлагается на дежурных по станции, переездам, стрелочным постам или на других лиц, назначенных приказом начальника отделения.

Расположение и техническое оснащение разных постов безопасности отличаются, но все посты безопасности должны иметь минимум оснащения (рисунок 1.11) и централизованную связь с поездным диспетчером, дежурным по станции и поездной бригадой.

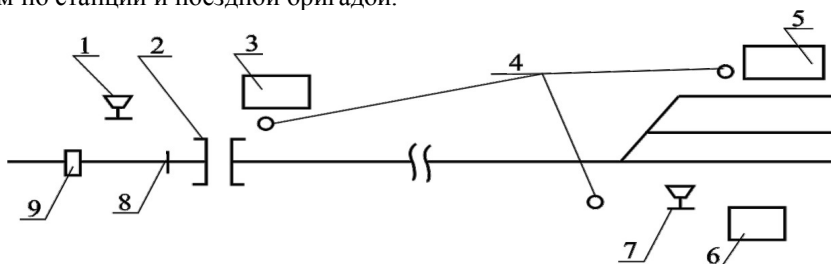


Рисунок 1.11 – Стационарный пост безопасности:

- 1, 7 – знаки «ПОСТ БЕЗОПАСНОСТИ»; 2 – переезд; 3 – помещение дежурного по переезду; 4 – прожекторные установки; 5 – служебное помещение ПТО; 6 – помещение дежурного по станции; 8 – устройство обнаружения нижней негабаритности; 9 – средства технического контроля

На стационарных постах безопасности визуально контролируются: выход за габариты подвижного состава деталей вагонов, грузов, элементов крепления грузов; перекосы или уширение кузова вагона; ползуны или навары на колесных парах (по характерному стуку); заторможенные колесные пары; перекрытые краны автогормозной магистрали; расстояние между упором автосцепки и ударной розеткой; волочащиеся детали вагонов; надежность крепления грузов и деталей вагонов; неисправности, выявляемые средствами дистанционного контроля; другие неисправности, угрожающие жизни пассажиров, безопасности поездов, сохранности перевозимых грузов, экологии окружающей среды или техническим устройствам железной дороги.

На перегоне перед стационарным постом безопасности должен устанавливаться прибор дистанционного контроля. При выявлении неисправности работники, их обнаружившие, по централизованной или другим видам связи обязаны немедленно сообщить об этом дежурному ближайшей железнодорожной станции, поездному диспетчеру и локомотивной бригаде. Получив информацию о необходимости остановки поезда, дежурный по станции принимает его на ближайшие свободные пути и сообщает об этом работни-

кам вагонного хозяйства. При отсутствии работников вагонного хозяйства решение об отцепке вагона от поезда на станционных путях принимает машинист поезда. Ремонт отцепленного в пути следования вагона на путях станции производят ремонтно-смотровые бригады ближайшего ПТО.

Контроль технического состояния вагонов при передаче с подъездных путей предприятий и организаций, речных портов на пути общего пользования и обратно производят в соответствии с Типовым технологическим процессом пункта технической передачи.

Передаваемые вагоны с записью их номеров должны одновременно осматривать принимающие и сдающие осмотрщики вагонов или представители железной дороги и владельца подъездного пути. При этом повреждения или отсутствие деталей, узлов и неисправности, обнаруженные у вагонов, состояние специальных приспособлений записывают в книгу натурального осмотра вагонов формы ВУ-15. После осмотра вагонов осмотрщики сдающей и принимающей сторон или их представители сверяют записи в книге формы ВУ-15 и заверяют их своими подписями, указывая против каждого номера вагона выявленные неисправности.

На каждый поезд или группу вагонов записи в книге делают на отдельной странице с указанием в заглавной части даты и времени передачи, номера поезда, количества вагонов и номеров головного и хвостового вагонов. В книгу формы ВУ-15 записывают номера только тех вагонов, в которых обнаружены неисправности, отсутствующие детали или повреждения. Во всех случаях повреждения вагонов записи в книгу формы ВУ-15 являются основанием для составления акта формы ВУ-25, который оформляется осмотрщиком вагонов, принимавшим поврежденный вагон. При отсутствии осмотрщика вагонов предприятия-владельца подъездного пути или специально выделенного для этого представителя, а также при отказе его от подписи акты подписывает только осмотрщик вагонов железной дороги. Для подтверждения факта повреждения вагонов дополнительно составляется акт общей формы, и в установленном порядке в адрес этого предприятия передается телефонограмма на вызов представителя.

Осмотрщики сдающей и принимающей смен вместе проверяют записи в книге формы ВУ-15 о невозвращенных на станцию железной дороги вагонах и расписываются в сдаче и приеме вагонов. На поврежденные вагоны в установленном порядке составляют акты формы ВУ-25 и уведомления формы ВУ-23.

Борта платформы, крышки загрузочных люков крытых вагонов, крышки загрузочно-выгрузочных верхних и нижних устройств цистерн, хопперов (зерновозов, цементовозов) и другого специализированного и универсального подвижного состава должны быть закрыты силами грузополучателя (грузоотправителя).

Вагоны с поврежденными или не приведенными в транспортное положение деталями и узлами от грузополучателей (грузоотправителей) с подъездных путей не принимаются, о чем ставится в известность приемосдатчик груза и дежурный по станции для учета вагонов в простое на подъездном

пути до устранения нарушений или подписания актов формы ВУ-25 на поврежденные вагоны. Ремонт вагонов после выписки на них уведомлений формы ВУ-23 производится на ремонтных путях ПТО или в вагонных депо. Пересылка таких вагонов в другие депо допускается по разрешению служб вагонного хозяйства и перевозок дороги.

Пункты технического обслуживания межгосударственных передаточных станций предназначены для контроля технического состояния и безотцепочного ремонта вагонов в поездах, передаваемых за государственную границу и прибывающих из-за границы. В пункте работают осмотрщики-ремонтники вагонов по осмотру и ремонту ходовых частей, кузова и осмотрщики-ремонтники по осмотру и ремонту пневматического оборудования и рычажных передач. Организация работ по техническому обслуживанию вагонов регламентирована местным технологическим процессом.

1.6 Управление надежностью, обслуживание грузовых вагонов на гарантийных участках, расчет протяженности участков

На стадии проектирования и изготовления вагонов устанавливают определенные характеристики надежности исходя из задачи обеспечения перевозочного процесса с соблюдением требований безопасности движения и сохранности перевозимых грузов. Чем выше надежность вагонов, тем меньше затраты на их техническое обслуживание и тем реже они будут нуждаться в плановом ремонте. Однако с повышением надежности вагонов возрастают и затраты на их изготовление.

Проведенные исследования показали, что затраты на техническое обслуживание и ремонт вагонов за весь срок службы в среднем по парку в 3–4 раза выше затрат на производство вагонов, что свидетельствует об их недостаточной надежности. Поэтому совершенствование организации технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов – **главное направление повышения эффективности работы вагонного хозяйства.**

С о х р а н я е м о с т ь – свойство вагона непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в определенных условиях хранения и транспортировки. Это свойство вагона относится не к периоду его непосредственной эксплуатации, а ко времени нахождения в отстое, резерве и т. п.

В соответствии со сложившимися представлениями (ГОСТ 18322. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения) **т е х н и ч е с к о е о б с л у ж и в а н и е** – это комплекс технических и организационных мероприятий в процессе эксплуатации вагонов для обеспечения выполнения требуемых (заданных) функций. В то же время **р е м о н т** – это комплекс технико-экономических и организационных меро-

приятый по поддержанию и восстановлению работоспособного состояния средств производства (вагонов).

Принципиальное отличие технического обслуживания от ремонта заключается в том, что в процессе технического обслуживания обычно не восстанавливают технический ресурс объекта (вагона), а выполняют перечень работ, регламентированных технической документацией: проверку технического состояния, смазку, крепление деталей, регулировку и т. д.

В практике вагонного хозяйства за время технического обслуживания вагонов выполняют отдельные операции по замене отказавших деталей, например, корпусов автосцепки, тормозных башмаков, соединительных рукавов и т. п. Требуемые (заданные) функции вагона – обеспечение безопасности движения в поездной и маневровой работе, возможности погрузки и выгрузки, комфорта пассажиров и сохранности грузов при перевозках.

Под техническим состоянием объекта (ГОСТ 20911. Техническая диагностика. Термины и определения) понимают характеристику соответствия объекта контроля требованиям нормативно-технической и конструкторской документации. В соответствии с понятиями теории надежности, вагоны, являющиеся объектами технического обслуживания, в процессе эксплуатации в результате эксплуатационных воздействий могут находиться в различном техническом состоянии: исправном или неисправном, работоспособном или неработоспособном, предельном.

Исправным считают такое состояние, когда вагон соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.

Неисправное состояние характеризуется несоответствием вагона хотя бы одному из требований НТД.

Работоспособным является такое состояние, когда вагон способен выполнять требуемые функции с установленными параметрами.

Неработоспособным считают такое состояние, когда вагон не способен выполнять хотя бы одну из требуемых функций или не обеспечивает эксплуатацию с установленными параметрами, например, может следовать с ограниченной скоростью движения или с ограниченной грузоподъемностью.

Предельным называют такое состояние, когда дальнейшая эксплуатация вагона экономически нецелесообразна или технически невозможна. Различают два предельных состояния: восстанавливаемое и невосстанавливаемое. Введение понятия предельного состояния связано с тем, что имеются случаи, когда постепенное накопление количественных изменений объекта при достижении некоторого порогового значения или предела вызывает переход в новое качественное состояние. Например, прокат колесной пары – естественный износ до некоторой величины (для грузовых вагонов – 9 мм) – не представляет опасности и не ограничивает параметров заданных функций. Если глубина проката будет более 9 мм, то в процессе прохода колесом

стрелочных перевозов возможно качение колеса с опорой на гребень по желобу крестовины. На такую нагрузку не рассчитаны ни колесо, ни крестовина и возможно их повреждение. Поэтому размер проката 9 мм и более регламентирован как недопустимый, а при достижении такого проката колесо переходит в предельное состояние и должно быть выявлено, а колесная пара изъята для ремонта. Такое колесо ремонтируют обточкой, в результате колесная пара из предельного состояния переводится в работоспособное, т.е. восстанавливается ее работоспособность.

В соответствии с ГОСТ 27.002 переход объекта в неисправное состояние характеризуется термином «повреждение», а переход в неработоспособное состояние – термином «отказ».

В процессе ремонта осуществляется переход объекта (вагона или его узла) из предельного (неработоспособного) состояния в работоспособное.

Безопасность движения поездов и сохранность перевозимых грузов, когда вагоны следуют в составах, больше всего определяет первое свойство надежности, т. е. безотказность. Основным показателем безотказности вагона является вероятность безотказной работы (или безотказного следования вагонов в поездах за время t), значение которой обозначается символом $p(t)$ для отдельного вагона и $P(t)$ – для всего поезда.

Ремонтпригодность вагона связана с временем восстановления его работоспособности при техническом обслуживании на ПТО и оценивается численным значением вероятности восстановления работоспособности за нормируемое время t , отведенное на техническое обслуживание вагонов в поездах, которое обозначается символом $V(t)$.

Каждый отдельно взятый вагон имеет довольно высокое значение показателя $p(t)$. Однако при включении их в составы вероятность безотказного следования поезда, состоящего из m вагонов, резко падает и равна произведению вероятностей безотказного следования каждого вагона, т. е.

$$P(t) = \prod_{i=1}^m p(t)_i.$$
 Так как отказы возникают случайно, то поезд может быть остановлен на станции, где есть ПТО с предусмотренной стоянкой по графику, или на промежуточной станции участка, создавая тем самым трудности для продвижения других поездов.

Система обслуживания и ремонта вагонов направлена на то, чтобы в пути следования не возникали вынужденные остановки поездов, а все возникающие в пути следования неисправности выявлялись и устранялись после прибытия поезда в пункты технического обслуживания (или пункты подготовки вагонов к перевозкам).

На перевозочную работу влияют отказы только тех элементов вагонов, для восстановления работоспособности которых необходима остановка поезда или задержка его сверх установленной нормы. Обычно по гарантийным участкам ежедневно проходит большое количество поездов, при проследовании ко-

торых возникают отказы. Последовательность таких отказов, происходящих в случайные моменты времени, называют **потоком отказов**.

Одновременно в результате проводимых мер по техническому обслуживанию и ремонту в противоположном направлении действует поток восстановления работоспособности вагонов. Если численное значение параметра восстановления работоспособности будет меньше, чем значение параметра возникновения отказов, то в вагонном парке происходит процесс накопления неисправностей и ухудшения его технического состояния. И наоборот, преобладание потока восстановления работоспособности вагонов над потоком возникновения неисправностей свидетельствует об улучшении общего технического состояния парка.

Для оценки параметра «потока возникновения неисправностей» вагонов установлены показатели безотказной работы вагонов, а для оценки параметра «потока восстановления» – показатели восстановления работоспособности вагонов.

Показатель надежности – количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность вагона.

Основным показателем надежности вагона является вероятность безотказной работы $p(t)$, который означает, что в пределах заданной наработки t не возникнет отказ вагона. Значение $p(t)$ находится в пределах $0 \leq p(t) \leq 1$, а численную оценку этой вероятности можно определить из выражения

$$p(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (1.50)$$

где N_0 – число вагонов, наблюдаемых в начале испытания; $n(t)$ – число вагонов, отказавших за время t .

Для невосстанавливаемых объектов применяют *показатель интенсивности отказов*

$$\lambda(t) = \Delta n_x / N(t) \Delta t, \quad (1.51)$$

где Δn_x – число отказавших изделий за промежуток времени от $(t - \Delta t/2)$ до $(t + \Delta t/2)$; Δt – интервал времени; $N(t)$ – среднее число изделий, исправно работавших в интервале времени Δt ,

$$N(t) = (N_{i-1} + N_i) / 2.$$

Для внезапных отказов, интенсивность появления которых во времени постоянна [$\lambda(t) = \text{const} = \lambda$] вероятность безотказной работы

$$p(t) = e^{-\lambda t}. \quad (1.52)$$

Это уравнение носит экспоненциальный характер. Для определения вероятности отсутствия отказов за время t при простейшем потоке отказов зависимость (1.52) можно представить в виде

$$p(t) = e^{-\omega t}. \quad (1.53)$$

Наработка между отказами – наработка вагона от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа, ваг·км:

$$T = \frac{N_{\text{п}} ml}{n_0}, \quad (1.54)$$

где $N_{\text{п}}$ – число проследовавших по участку поездов за время t ; m – среднее число вагонов в поезде; l – длина гарантийного участка, км; n_0 – число отказов, возникающих за суммарный пробег в течение времени t .

Оценку *параметра потока отказов* вагонов на отдельно рассматриваемом участке безостановочного движения, 1/ваг·км, можно определить по формуле

$$\omega_0 = \frac{n_0}{N_{\text{п}} ml}. \quad (1.55)$$

Параметр потока отказов ω может быть выражен количеством отказов, возникающих за определённый отрезок времени t (1/год) за время пробега, в вагоно-часах $\omega_{\text{ч}}$ (1/ваг·ч) или за единицу линейного пробега ω_0 (1/ваг·км).

Параметры $\omega_{\text{ч}}$ и ω_0 взаимосвязаны, так как $\omega_0 = \omega_{\text{ч}}/v_{\text{уч}}$, где $v_{\text{уч}}$ – средняя участковая скорость движения поездов на участке. Отсюда вероятность безотказного проследования поезда по участку

$$P(t) = e^{-\omega_{\text{ч}} t}; \quad (1.56)$$

$$P(l) = e^{-\omega_0 l}, \quad (1.57)$$

или

$$P(l) = e^{-ml/T}. \quad (1.58)$$

Таким образом, при оценке вероятности безотказной работы вагонов при пробеге по данному участку численные значения $P(t)$ и $P(l)$ всегда будут одинаковыми, т. е. $P(t) = P(l)$.

Характер зависимостей (1.57) и (1.58) показывает, что с увеличением длины гарантийного участка вероятность безотказного проследования по участку снижается и носит экспоненциальный характер (рисунок 1.12).

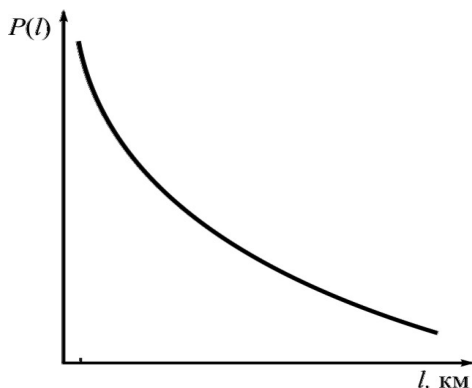


Рисунок 1.12 – Зависимость вероятности безотказного проследования вагонов по гарантийному участку от его длины

Основными показателями ремонтпригодности вагонов являются вероятность восстановления их работоспособного состояния за регламентированное время обслуживания, а также среднее время восстановления работоспособного состояния вагона есть математическое ожидание времени его восстановления.

В процессе эксплуатации работоспособное состояние вагонов восстанавливается при подготовке их к перевозкам и на пунктах технического обслуживания в пути следования

Учитывая, что на ПТО применяется бригадная организация обслуживания вагонов в поездах, фактически реализуемые затраты труда ремонтной бригады можно представить в виде суммарных затрат времени всех рабочих, участвующих в подготовке составов в рейс. Функция распределения общих затрат труда ремонтных бригад на восстановление работоспособности вагонов за время обработки состава $t_{\text{обр}}$ имеет вид

$$V(h_{\Phi}) = 1 - \left(1 + \frac{2h_{\Phi}}{H_{\text{ср}}} \right) e^{-2h_{\Phi}/H_{\text{ср}}}, \quad (1.59)$$

где h_{Φ} – фактически реализуемые затраты труда на техническое обслуживание вагонов в поездах за нормируемое время обработки состава $t_{\text{обр}}$; $H_{\text{ср}}$ – средние (статистические) затраты труда на выявление и устранение неисправностей и выполнение профилактических мероприятий при подготовке состава в рейс. График этой функции показан на рисунке 1.13.

При определении численного значения вероятности восстановления работоспособности вагонов при техническом обслуживании и текущем ремонте их на конкретном ПТО фактические реализуемые затраты труда, ч, подсчитываются по формуле

$$h_{\phi} = R_{\text{яв}} t_{\text{обр}}, \quad (1.60)$$

где $R_{\text{яв}}$ – среднее явочное число работников ремонтно-смотровой бригады, участвующих в подготовке каждого состава в рейс; $t_{\text{обр}}$ – средняя продолжительность простоя составов под обработкой, ч.

Средние затраты труда на подготовку состава в рейс зависят от приспособленности вагонов к обнаружению и устранению неисправностей, квалификации обслуживающего персонала; организационно-технического уровня обслуживания, наличия технических средств и стабильности снабжения ПТО запасными частями и материалами.

Значение $H_{\text{ср}}$ определяется по формуле

$$H_{\text{ср}} = m \sum_{i=1}^n \alpha_i h_{o_i}, \quad (1.61)$$

где m – среднее число вагонов в составе; $\sum_{i=1}^n \alpha_i h_{o_i}$ – средние (статистические) затраты труда на подготовку в рейс одного вагона рабочего парка; α_i – доля количества вагонов i -го типа в проходящих поездах; h_{o_i} – средняя трудоемкость технического обслуживания одного вагона i -го типа; n – число основных типов вагонов.

Восстановление работоспособности вагонов в процессе эксплуатации играет важную роль в обеспечении безотказной их работы. Чем лучше организована система технического обслуживания и ремонта вагонов, тем меньше отказов возникает в процессе перевозочной работы. Эту взаимосвязь можно представить в виде следующей зависимости:

$$n_{\text{ож}} = n_o - n_o V(t) = n_o [1 - V(t)], \quad (1.62)$$

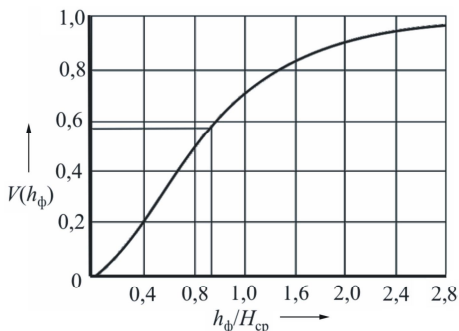


Рисунок 1.13 – Зависимость вероятности восстановления работоспособности вагонов от величины отношения фактических затрат к средним

где $n_{ож}$ – число отказов вагонов в процессе движения поездов по участку за рассматриваемое время t с учетом восстановления их работоспособности на ПТО; n_0 – общее число отказов на участке при отсутствии технического обслуживания на ПТО; $V(t)$ – вероятность восстановления работоспособности вагонов (после возникновения отказа) за допустимое время t ; $n_0V(t)$ – число отказов, которые были выявлены и устранены на ПТО за указанное время t при подготовке составов в рейс.

Ожидаемое количество отказов на участке при отсутствии технического обслуживания на ПТО

$$n_0 = \omega_0 N m l, \quad (1.63)$$

где ω_0 – параметр потока отказов при условии, что вагоны не проходили техническое обслуживание на ПТО; N – количество поездов, проследовавших по участку за сутки; m – среднее количество вагонов в поезде; l – длина гарантийного участка, км.

Основным показателем оценки качества работы ПТО служит сокращение числа отказов (задержек поездов и отцепок вагонов по техническим неисправностям на гарантийных участках). Для этого определяют ожидаемое число отказов за рассматриваемый отрезок времени для расчетного значения уровня восстановления работоспособности вагонов и сравнивают его с фактическим числом отказов, возникшим за отчетный период. Если $n_{ож} < n_{ф}$, то работа ПТО оценивается как неудовлетворительная. При $n_{ф} < n_{ож}$ работа на ПТО считается удовлетворительной.

Выигрыш в надежности при обслуживании на ПТО показывает, во сколько раз сократятся отказы вагонов в результате восстановления их работоспособности в системе технического обслуживания и ремонта. Определяется из выражения

$$\eta(t) = \frac{n_0}{n_0[1-V(t)]} = \frac{1}{1-V(t)}. \quad (1.64)$$

График этой зависимости представлен на рисунке 1.14.

Учитывая специфические условия обезличенной эксплуатации грузовых вагонов, создана методика статистической оценки их технического состояния и надежности. **Задача оценки технического состояния и надежности грузовых вагонов** внедрена в промышленную эксплуатацию в числе задач автоматизированной системы управления на железнодорожном транспорте. Сбор необходимой информации о состоянии вагонного парка производится группами надежности. Собранная информация позволяет распространить полученные на основе ее обработки выводы на весь вагонный парк данного типа и периода постройки.

Исходная информация для решения задачи по оценке технического состояния и надежности грузовых вагонов делится на два вида: оперативную (текущую) и нормативно-справочную (условно постоянную).

Оперативная информация заносится в рабочие карты обследования технического состояния вагонов согласно специально разработанному макету дефектной ведомости.

Нормативно-справочная информация формируется на основе данных, которые содержатся в учетных и отчетных формах ВО-1, ДО-2, ГО-1, ДО-18, ВУ-31, а также в типовых технически обоснованных укрупненных нормах времени на текущий отцепочный и периодический ремонты. К этой информации относятся также сведения, получаемые в результате проведения специальных обследований вагонов и опытных поездов.

Сбор и обработка информации о техническом состоянии вагонов производятся в следующем порядке: сбор информации путем натурного обследования вагонов по всем узлам и ее кодирование; визуальный контроль исходной информации; группирование, маркирование и представление в центр собранной информации в виде рабочих карт обследования грузовых вагонов; подготовка данных для ввода в ЭВМ; проверка правильности данных, логический контроль входной информации; интегральная обработка информации на ЭВМ с выдачей результатов в табличной форме; расчет показателей технического состояния и надежности вагонов.

Данные обследования (количество выявленных и устраненных неисправностей, а также постоянные признаки обследованных вагонов) заносятся с помощью кодификатора дефектной ведомости и установленных кодов на рабочие карты. В картах условными кодами обозначены виды основных неисправностей (излом, трещина, износ, коррозия, изгиб и т. д.) и указаны все узлы и элементы вагонов.

Наряду с задачами «Оценка технического состояния и надежности грузовых вагонов» в промышленную эксплуатацию внедрена другая **задача АСУ вагонного хозяйства «Централизованный номерной учет инвентарного парка грузовых вагонов»**. Централизация учета предоставляет аппарату управления дороги следующую и н ф о р м а ц и ю: наличие и движение инвентарного парка; его распределение по родам, типам, специализации, годам постройки, видам последнего периодического ремонта, особенностям конструкции или установленного оборудования, грузоподъемности, изме-

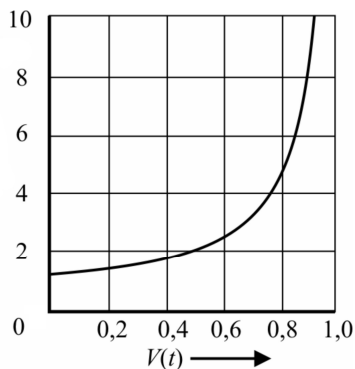


Рисунок 1.14 – Зависимость выигрыша в надежности от уровня восстановления работоспособности вагонов на ПТО

нению стоимости парка грузовых вагонов, амортизационным отчислениям и затратам на капитальный ремонт и модернизацию.

На основе данных централизованного учета инвентарного парка грузовых вагонов в сочетании с информацией об их техническом состоянии и надежности обеспечивается рациональное управление обновлением парка, централизованное планирование и финансирование периодических видов ремонта, а также управление техническим состоянием вагонов.

В результате автоматизированной обработки исходной информации о надежности вагонов выдаются сводные данные о техническом состоянии каждого узла и элемента в зависимости от продолжительности эксплуатации вагонов. Можно получить также сведения о характере отказа или неисправности (недостаточная конструкционная прочность, несоблюдение технологии изготовления, нарушение правил эксплуатации).

Полученные результаты используются при разработке нормируемых показателей надежности, включаемых в технические условия на поставку новых вагонов. Для проверки соответствия нормируемой и фактической надежности используется методика сбора и обработки информации о надежности вагонов новой постройки на базе учетной формы ВУ-31, которая ведется по расширенной номенклатуре показателей в пунктах размещения групп надежности. Данные о надежности вагонов дают возможность контролировать выполнение нормируемых показателей надежности изделий вагоностроения, закладываемых при их проектировании.

Таким образом, информация, полученная в результате решения задачи «Оценка надежности и технического состояния грузовых вагонов», может быть широко использована ГВЦ МПС, вагоностроительными заводами и другими заинтересованными организациями для решения практических задач управления вагонным хозяйством, формирования научно обоснованных требований к надежности вновь строящихся вагонов и предложений по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта вагонов.

Оценка надежности вагонов в процессе эксплуатации позволяет получить необходимую информацию для обоснования требований к конструкции вновь строящихся вагонов путем сравнения достигнутого уровня надежности новых вагонов с вагонами предшествующих выпусков.

В соответствии с Правилами технической эксплуатации Белорусской железной дороги и другими нормативными документами некоторые технические операции с вагонами кроме работников вагонных депо могут выполнять и другие работники транспорта: локомотивные бригады, дежурные по станциям, составители, а также служебный персонал пассажирских поездов. В этих случаях обязанности работников других служб точно регламентированы местными инструкциями: техническо-распорядительным актом станции, инструкцией локомотивным бригадам,

а также отдельными распоряжениями дежурного по отделению дороги и поездного диспетчера. Так, производится сокращенное опробование тормозов при отцепке и прицепке вагонов в состав поезда на промежуточных станциях, отцепка неисправных вагонов на промежуточных станциях, осмотр вагонов по показанию аппаратуры теплового контроля букс, решение вопроса о выводе неисправного вагона в случае вынужденной остановки поезда на перегоне. В принятии решения участвует дежурный инженер или оператор отдела подвижного состава отделения дороги, а при наличии автоматизированной системы контроля подвижного состава (АСКПС) – оператор центрального поста.

Практически все перечисленные случаи относятся к чрезвычайным ситуациям, и все работники транспорта, обеспечивающие перевозочный процесс, должны действовать согласно регламенту действий работников, связанных с движением поездов, в аварийных и нестандартных ситуациях.

Границей участков обслуживания служат промежуточные или участковые станции, точнее, входной или выходной светофор станции, т. е. граничная станция относится к одному из участков обслуживания. В границах отделения дороги и дороги размещены также линейные подразделения других служб: дистанции пути, дистанции связи, диспетчерские участки службы перевозок. Это является важным условием организации перевозочной работы дорог и управления процессом перевозок.

Для пунктов технического обслуживания вагонов и других эксплуатационных подразделений вагонного хозяйства, выполняющих техническое обслуживание вагонов в поездах после формирования (пунктов опробования тормозов, пунктов подготовки вагонов к перевозкам, контрольных постов и других), установлены гарантийные участки для груженых и порожних вагонов. Это участки пути от станции отправления до станции назначения поезда, на которых пункт должен обеспечить безотказное следование вагонов в обслуживаемых поездах. На рисунке 1.15 приведена схема участков обслуживания и гарантийных участков на одном из направлений железной дороги.

Подразделения по техническому обслуживанию и текущему ремонту вагонов в поездах сосредоточены на сортировочных и участковых станциях. На сортировочных станциях формируют поезда, часть прибывших поездов расформируют, часть пропускают транзитом. На сортировочных станциях предусмотрены технические операции, в т. ч. техническое обслуживание вагонов. В переформируемых поездах производят техническое обслуживание вагонов по прибытии и перед отправлением. Вагоны, требующие отцепочного ремонта, должны быть выявлены и направлены в ремонт. В транзитных поездах производят техническое обслуживание вагонов и подготовку их к отправлению. Гарантийные участки ПТО, на ко-

торых они несут ответственность за безаварийное проследование поездов, установлены между станциями размещения ПТО.

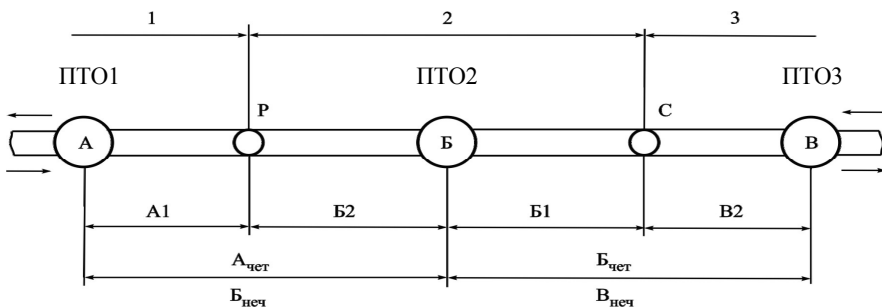


Рисунок 1.15 – Схема обслуживания гарантийного участка:

1–3 – участки железной дороги в пределах отделений дороги; А, Б, В – сортировочные станции; Р, С – участковые станции; ПТО – пункты технического обслуживания вагонов на сортировочных станциях; А1, Б1, Б2, В2 – участки обслуживания депо на станциях А, Б, В соответственно; А_{чет}, Б_{чет}, Б_{неч}, В_{неч} – гарантийные участки: соответственно четный (ПТО1), четный и нечетный (ПТО2), нечетный (ПТО3)

Схема ПТО связана со схемой сортировочной станции. Используются следующие основные **типы сортировочных станций**:

- двухсторонние с раздельными парками приема, сортировочными, отправления и транзитными;
- двухсторонние с раздельными парками без транзитных парков;
- с совмещенными парками: сортировочным и отправления (отправление поездов производится из сортировочного парка);
- без раздельных парков.

На двухсторонних сортировочных станциях с раздельными парками обычно имеются два ПТО по системам парков: четной и нечетной (рисунок 1.16).

На сортировочных станциях с совмещенными парками нет парков отправления. Сформированные поезда отправляют из сортировочного парка. Там же производится их техническое обслуживание.

На сортировочных станциях без раздельных парков специализированы пути прибытия, отправления и сортировочные. Техническое обслуживание вагонов производится на соответствующих путях.

На станциях, отправляющих поезда на несколько направлений, пути отправления специализируют по направлениям.

Для станций с совмещенными парками разработана система мероприятий по обеспечению техники безопасности для бригад, занятых техническим обслуживанием вагонов.

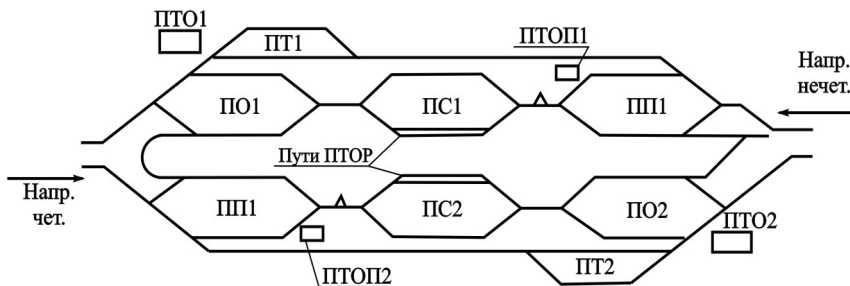


Рисунок 1.16 – Схема двухсторонней сортировочной станции:
парки: ПП – прибытия; ПС – сортировочные; ПО – отправления; ПТ – транзитные; ПТОР – пути пункта текущего ремонта вагонов. Цифрой 1 обозначены парки нечетной системы, цифрой 2 – четной; ПТО1, ПТО2 – основные помещения ПТО нечетной и четной систем; ПТОП1, ПТОП2 – помещения ПТО в парках прибытия

На двухсторонних сортировочных станциях без транзитных парков транзитные поезда принимают на специализированные пути парка отправления, обычно на боковые. На электрифицированных направлениях эти пути оснащены контактным проводом, что необходимо учитывать при организации технического обслуживания вагонов.

Специализация путей в парках станции производится в техническо-распорядительном акте станции (ТРА), в местных инструкциях и технологических процессах.

Значение вероятности безотказной работы вагонов с учетом восстановления работоспособности их на ПТО можно определить как

$$P(l) = \exp\left(\frac{-m_0 l}{T(V)_o}\right); \quad P(l) = \exp\left(\frac{-l}{T(V)_п}\right); \quad P(t) = \exp\left(\frac{-t}{T(V)_ч}\right), \quad (1.65)$$

где $T(V)_o$, $T(V)_п$, $T(V)_ч$ – соответственно средняя наработка между отказами, учитываемая в измерителях: вагоно-осе-километр, вагоно-километр, вагоно-час.

Для удобства дальнейших рассуждений все три зависимости можно представить выраженными в измерителе «вагоно-километр», то есть если принять n_B – количество вагонов в составе, O – осьность вагона, то $m_0 = n_B O$. Тогда

$$P(t) = \exp\left(\frac{-m_0 n l}{(NS)_B O}\right), \quad (1.66)$$

где $(NS)_B$ – показатель, выраженный в вагоно-километрах; O – осьность вагона, которую без большой погрешности можно принять равной 4.

Следовательно, формулу (1.66) можно записать так:

$$P(l) = \exp\left(\frac{-n_B \ln}{(NS)_B}\right), \quad (1.67)$$

где n_B – количество вагонов в составе.

Выразив отношение $(NS)_B / n$ как наработку на отказ, можно записать:

$$P(l) = \exp[-\ln_B T(V)_B].$$

Длина безостановочного движения поездов, учитывая средневзвешенное значение наработки на отказ в целом по вагону,

$$l_{\text{опт}} = -T(V) \ln P(l) / m. \quad (1.68)$$

Приняв допущение о расчете протяженности гарантийных участков по средневзвешенному для вагона значению наработки на отказ, необходимо, тем не менее, учитывать ее вероятностную природу. Тогда формулу (1.68) необходимо записать так:

$$l_{\text{опт}} = -T(V)_{\text{расч}} \ln P(t) / m, \quad (1.69)$$

где $T(V)_{\text{расч}}$ – расчетное значение случайной величины $T(V)_i$ при заданном уровне доверительной вероятности β , который определяет степень риска в безостановочном проследовании поездов.

Рассмотрим природу величины $T(V)_{\text{расч}}$, или $T(V)_{B, \text{расч}}$. Предположим, что эта случайная величина строго подчиняется нормальному закону распределения с параметрами $\bar{T}(V)_B$ и $\sigma_{T(V)_B}$. На рисунке 1.17 показан график поведения плотности вероятностей.

Указанная выше методика (ВНИИЖТ) рассчитана на рассмотрение в качестве величины $T(V)_B$ математического ожидания $\bar{T}(V)_{B_i}$. Но в этом случае только в 50 % ситуаций от выборочной совокупности будет благоприятный исход. Работать с таким уровнем доверительной вероятности при обосновании протяженности гарантийного участка недопустимо, поскольку в эти 50 % как бы закладываются в расчеты отказы вагонов со всеми последующими исходами. Поэтому необходимо перейти к определению расчетного значения наработки на отказ, т. е. перейти к формуле (1.69). В предпо-

ложении, что $T(V)_{Vi}$ подчиняется нормальному закону распределения, можно записать:

$$T(V)_{\text{в. расч}} = \bar{T}(V)_{Vi} \pm t_{\beta} \sigma_{T(V)_{Vi}}, \quad (1.70)$$

где $\bar{T}(V)_{Vi}$ – математическое ожидание наработки на отказ; t_{β} – нормированное отклонение для заданного уровня доверительной вероятности β ; $\sigma_{T(V)_{Vi}}$ – среднее квадратическое отклонение случайной величины $T(V)_{Vi}$.

В практике исследований и расчетов для случайных процессов значение уровня доверительной вероятности β задается, а величины $\bar{T}(V)_{Vi}$ и $\sigma_{T(V)_{Vi}}$ рассчитываются при обосновании закона, которому не противоречит случайная величина (в нашем случае – наработка на отказ).

Весьма принципиальным является график, изображенный на рисунке 1.17. Здесь возможны два подхода: в качестве $T(V)_{\text{в. расч}}$ в формуле (1.70)

принимать $T(V)_{\text{в. расч}}^{\min}$ или $T(V)_{\text{в. расч}}^{\max}$. Если мы зададим $T(V)_{\text{в. расч}}^{\max}$, то длина гарантийного участка будет явно завышенной. Вероятность востребования такой длины участка по условию надежности грузового вагона обозначим $P(l) = P_1(l)$. С другой стороны, вероятность появления на участке вагона с таким уровнем надежности будет мала. Другими словами, вагоны не будут выдерживать такой «протяженности гарантийного участка». Железная дорога в этом случае будет нести существенные экономические убытки как из-за остановки поездов на участке по причине отказов вагонов, так и в случае аварий и крушений, которые в большинстве своем являются следствием внезапных отказов вагонов. При принятии условия

$$T(V)_{\text{в. расч}} = T(V)_{\text{в. расч}}^{\min} \quad (1.71)$$

зависимость (1.71) следует записать таким образом:

$$T(V)_{\text{в. расч}} = \bar{T}(V)_{\text{в}} - t_{\beta} \sigma_{T(V)_{Vi}}. \quad (1.72)$$

В этом случае значительно увеличится вероятность востребования вагоном (по условию его надежности) такой длины гарантийного участка $[P_2(l)]$. Вполне логично записать: $P_2(l) > P_1(l)$. В этом случае значительно повысится уровень безопасности движения поездов на гарантийном участке. Поэтому для дальнейших исследований и практических расчетов принимается зависимость вида (1.72).

Графическая интерпретация процесса выбора расчетного значения наработки на отказ и, естественно, протяженности гарантийного участка показана на рисунке 1.18.

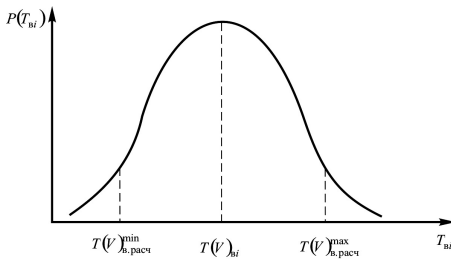


Рисунок 1.17 – График поведения плотности вероятностей случайной величины «наработка на отказ»

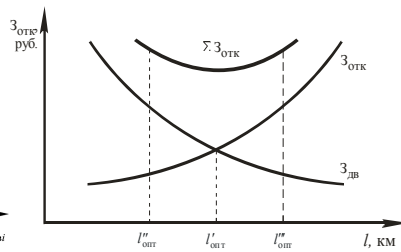


Рисунок 1.18 – Графическая интерпретация процесса оптимизации

При увеличении длины гарантийного участка, вполне естественно, будут увеличиваться расходы, вызванные более частым отказом вагонов ($Z_{отк}$). С другой стороны, будут уменьшаться расходы, вызванные необходимостью остановки поездов и содержанием всей инфраструктуры, обеспечивающей обслуживание поездов. С учетом результатов исследования случайной величины $T(V)$ можно предположить, что явный оптимум будет отсутствовать. Поэтому реальная протяженность участка будет находиться в каком-то диапазоне ($l_{опт}^{''} - l_{опт}^{'''}$).

Как уже отмечалось выше, существующие подходы по определению оптимальной, рациональной длины гарантийных участков исходят из условия рассмотрения на участке объекта, которым выступает в целом вагон, с чем нельзя однозначно согласиться. Выполненные исследования и полученные результаты показывают, что, например, для условий работы Белорусской железной дороги в 2000 г. математические ожидания наработки на отказ по буксовому узлу, автотормозному оборудованию, автосцепному узлу соответственно равны 81 536; 143 850; 127 990 ваг·км. Поэтому предлагается следующая запись условия оптимальности протяженности гарантийного участка по надежности грузового вагона:

$$l_{опт} = \min(l_{опт}^{БУ}, l_{опт}^{АВТ}, l_{опт}^{АВС}), \quad (1.73)$$

где $l_{опт}^{БУ}$, $l_{опт}^{АВТ}$, $l_{опт}^{АВС}$ – соответственно протяженности гарантийных участков по условию надежности ходовых частей (буксовых узлов), автотормозного и автосцепного оборудования.

В свою очередь,

$$\left. \begin{aligned} l_{опт}^{БУ} &= -T(V)_{расч}^{БУ} \ln P(t)/m; \\ l_{опт}^{АВТ} &= -T(V)_{расч}^{АВТ} \ln P(t)/m; \\ l_{опт}^{АВС} &= -T(V)_{расч}^{АВС} \ln P(t)/m. \end{aligned} \right\} \quad (1.74)$$

Графически этот процесс представлен на рисунке 1.19.

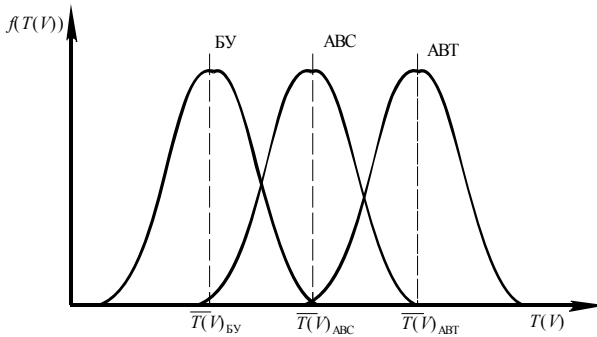


Рисунок 1.19 – Распределение наработки на отказ по узлам:
 БУ – буксовый узел; АВС – автосцепка; АВТ – автотормоза

Весьма важным моментом в исследовании случайных процессов является анализ размаха колебаний случайных величин, характеристикой которого является среднее квадратическое отклонение. Для того же периода функционирования Белорусской железной дороги (1990 г.) среднее квадратическое отклонение по указанным выше узлам равно: $\sigma_{N(V)_{\text{БУ}}} - 50\,624$, $\sigma_{T(V)_{\text{АВТ}}} - 66\,960$, $\sigma_{T(V)_{\text{АВС}}} - 76\,194$ ваг·км; $\nu_{\text{БУ}} - 62,94$, $\nu_{\text{АВТ}} - 51,98$, $\nu_{\text{АВС}} - 58,70$. Видно, что наибольшей неопределенностью обладает надежность буксового узла, затем автосцепное и автотормозное оборудование.

Наличие таких данных указывает на то, что при расчете протяженности по трем узлам наибольшей неопределенностью будет обладать протяженность, полученная по эксплуатационной надежности буксового узла, а наименьшей – по надежности автосцепного оборудования.

Представляет интерес анализ динамики изменения во временном интервале как среднего квадратического отклонения, так и коэффициента вариации. Анализ взаимного расположения временных рядов по σ и ν показал, что из года в год нарастает значение коэффициента вариации ν и падает значение среднего квадратического отклонения σ . Особенно тревожная картина характерна для автосцепного оборудования, что требует внесения существенной корректировки в нормативно-справочные документы.

Реализация вероятностного подхода к расчету протяженности гарантийных участков возможна только при условии наличия методики, позволяющей произвести расчет квантили (расчетного значения) наработки на отказ. Методика должна отвечать двум требованиям: должны реализовываться любые из 18 наиболее часто встречающихся законов; поиск расчетных значений должен вестись с шагом уровня доверительной вероятности 0,05. Это условие позволяет в дальнейшем произвести поиск рационального уровня доверительной вероятности $P_{\text{дов.рац}}$.

1.7 Расчет контингента работников пункта технического обслуживания вагонов

Количество рабочих ПТО устанавливают согласно **Типовым технически обоснованным нормативам**, утвержденным Управлением Белорусской железной дороги. В ряде случаев фактический контингент рабочих ПТО не соответствует нормативному. Поэтому возникает необходимость в уточнении численности ремонтных бригад по расчетной трудоемкости обработки составов, а также в определении числа и групп, одновременно занятых подготовкой поездов в рейс.

Число ремонтных бригад в парках прибытия и отправления, их численность зависят от количества обрабатываемых поездов и интервалов их прибытия и отправления.

Число ремонтных бригад при равномерном подходе поездов определяют из соотношения

$$M_{бр} = N_c t_{обр} / T, \quad (1.75)$$

где N_c – среднее количество поездов, прибывших в смену или в сутки; $t_{обр}$ – продолжительность обработки составов, ч; T – продолжительность работы (смена, сутки), ч.

Численность рабочих в смену в парках ПТО определяют в зависимости от количества обрабатываемых поездов, количества вагонов в поездах согласно нормативам, установленным отдельно для комплексных бригад, работающих с совмещением профессий слесаря и без совмещения, по каждому парку пункта технического обслуживания.

Распределение рабочих по профессиям устанавливают исходя из трудоемкости выполнения различных операций по техническому обслуживанию и ремонту вагонов: в парках прибытия – технический контроль вагонов – 74 %; операции по разъединению автотормозных рукавов – 26; в парка отправления – технический контроль вагонов – 32, технический контроль автотормозов – 14, ремонт ходовых частей – 24, ремонт и обслуживание буксового узла – 13, ремонт и обслуживание автотормозного оборудования – 17 %.

Потребность в рабочей силе ПТО можно определить исходя из усредненной трудоемкости технического обслуживания одного вагона:

$$R_{яв} = \frac{NmH}{F_{яв}}, \quad (1.76)$$

где N – количество поездов, проследовавших по данному участку за определенный интервал времени; m – среднее количество вагонов в поезде; H – усредненная трудоемкость технического обслуживания одного вагона, чел-мин; $F_{яв}$ – фонд времени одного явочного рабочего, ч.

Техническое состояние вагона, а следовательно, и трудоемкость технического обслуживания различны. Вагоны с большим сроком эксплуатации, старо-

типной конструкции постепенно исключаются из инвентаря. Парк насыщается новыми вагонами, производится модернизация вагонов ранних лет выпуска. Но остается еще значительная часть вагонов с неудовлетворительным техническим состоянием. Следовательно, грубое усреднение трудоемкости технического обслуживания одного вагона при классическом подходе к расчету контингента работников ПТО дает большую погрешность при вычислениях, а значит, необходим переход к вероятностной модели расчета.

Согласно этой методике

$$R_{\text{яв}} = \frac{NmH_{\text{расч}}^{\text{ваг}} \alpha_n}{F_{\text{яв}}}, \quad (1.77)$$

где $H_{\text{расч}}^{\text{ваг}}$ – расчетное значение трудоемкости технического обслуживания одного вагона, чел-мин; α_n – коэффициент, учитывающий неравномерность прибытия поездов и непроизводительные переходы ремонтных бригад.

Процесс нахождения расчетного значения трудоемкости технического обслуживания вагона включает: сбор статистических данных по натурному обследованию вагонов ($H_1, H_2, \dots, H_n, n > 100$); подбор по критерию согласия определенного закона распределения случайной величины, к которому ближе всего подходит наша совокупность H_i ; расчет квантилей и выбор оптимума.

1.8 Расчет основных параметров вагонных депо в условиях неопределенности и риска, классификация вагонных депо как транспортных объектов

В настоящее время испытываемый дефицит деповской вагоноремонтной базы обусловлен в основном двумя причинами: приростом потребности в ремонте в связи с выполнением всех плановых ремонтов на существующих площадях; ухудшением технического состояния вагонов, приводящем к увеличению простоя их в ремонте. Вместе с тем важное место в создании необходимых условий для своевременного и качественного ремонта вагонов занимает обоснованный расчет основных технико-экономических характеристик депо. Существующие подходы и разработанные на их основе методики обладают весьма существенным недостатком: все исходные параметры принимаются как детерминированные. Выполненные авторами исследования показали, что при таком подходе результаты расчетов основных параметров депо находятся в противоречии с важнейшим показателем, которым является трудоемкость ремонта вагонов, имеющая вероятностный характер. Это приводит к тому, что во многих случаях при разработке вариантов реконструкции депо, сопровождаемых расчетом основных технико-экономических показателей, решения принимаются интуитивно. Поэтому на сети железных дорог СНГ создались ситуации, когда вагонные

депо, имеющие одинаковую программу ремонта по одному и тому же типу вагонов, обладают различными производственными площадями. При этом колебания достигают весьма существенных величин.

Еще более контрастно проявляется несоответствие в целом по депо сети, специализирующихся на ремонте различных типов вагонов. Например, величина, характеризующая отношение площади участка по ремонту тележек вагонов к производственной программе депо, для грузовых вагонов имеет следующие параметры: для крытых вагонов – среднее арифметическое – $0,17 \text{ м}^2/\text{ваг.}$, среднее квадратическое отклонение – $0,12 \text{ м}^2/\text{ваг.}$, коэффициент вариации – $70,59 \%$; для платформ, полувагонов и цистерн – соответственно $0,09 \text{ м}^2/\text{ваг.}$, $0,07 \text{ м}^2/\text{ваг.}$, $77,78 \%$; $0,17 \text{ м}^2/\text{ваг.}$, $0,25 \text{ м}^2/\text{ваг.}$, $147,06 \%$; $0,07 \text{ м}^2/\text{ваг.}$, $0,03 \text{ м}^2/\text{ваг.}$, $42,86 \%$.

К основным показателям, которые определяют эффективность работы вагонных депо, относятся:

а) обоснованность расчета пропускной способности участков, отделений по ремонту узлов и деталей, а также вагонного депо в целом;

б) обеспеченность программы ремонта:

– фронтом работ вагоноборочного участка (ВСУ);

– потребным контингентом работников по участкам и отделениям;

– потребным оборудованием;

в) обеспеченность производственными площадями:

– участков и отделений;

– предельной территории и территории станции, предназначенной для накопления вагонов, требующих планового ремонта.

Под пропускной способностью вагонных депо следует понимать максимальное число вагонов, при котором вероятность их обслуживания в заданном интервале времени окажется равной или больше заданной величины p_3 . Если рассматривать этот показатель за период времени один год, то его можно идентифицировать с производственной мощностью депо, которая в настоящее время определяется следующим образом:

$$M_{ц} = \Phi_{ц} F_{ц} / (f_{в} t_{в}), \quad (1.78)$$

где $M_{ц}$ – производственная мощность вагоноборочного участка за расчетный период, ваг.; $\Phi_{ц}$ – фонд времени работы участка за тот же период, ч; $F_{ц}$ – производственная площадь участка, м^2 ; $f_{в}$ – удельная площадь, приходящаяся на один вагон, с учетом проездов, проходов и пр., принимаемая для каждого типа вагонов согласно нормам проектирования, $\text{м}^2/\text{ваг.}$; $t_{в}$ – время нахождения вагона в ремонте, ч.

В целом для вагоноремонтной базы рассчитывается фронт работы вагоноборочных участков, который необходимо иметь для своевременного и качественного выполнения программы ремонта:

$$P_{pi} = N_{\text{деп. } i}^{\text{рем}} t_{vi} / (\Phi_{ц} k_{см}), \quad (1.79)$$

где $N_{\text{деп.}i}^{\text{рем}}$ – программа деповского ремонта вагонов i -го типа, которая должна быть выполнена за год; $t_{\text{в}i}$ – время нахождения вагона i -го типа в ремонте, ч; $\Phi_{\text{д}}$ – фонд времени работы депо за тот же период при односменном режиме работы, ч; $k_{\text{см}}$ – коэффициент сменности работы депо.

Однако известно, что производственная мощность вагонного депо определяется также технологическими схемами и параметрами применяемых поточных линий. С учетом этих показателей *наличную пропускную способность* вагонсборочного участка можно определить по следующей зависимости:

$$N_{\text{н}} = (8760 - t_{\text{обсл}}) \Phi_{\text{л}} n_{\text{л}} k_{\text{pp}} k_{\text{н}} / T_{\text{пл}}, \quad (1.80)$$

где 8760 – количество календарных часов в году; $t_{\text{обсл}}$ – время, необходимое для профилактического обслуживания поточной линии (при двухсменном режиме работы $t_{\text{обсл}} = 0$); $\Phi_{\text{л}}$ – фронт работ поточной линии; $n_{\text{л}}$ – количество поточных линий ВСУ; k_{pp} – коэффициент, учитывающий режим работы депо; $k_{\text{н}}$ – коэффициент, определяемый надежностью работы поточной линии; $T_{\text{пл}}$ – время нахождения вагона на позициях поточной линии.

Однако и для первого (1.79), и для второго (1.80) подходов характерна существенная особенность: они не учитывают вероятностный характер трудоемкости ремонта вагонов, а следовательно, и времени нахождения его в ремонте. Поэтому важнейшим направлением совершенствования теории расчета наличной пропускной способности депо является учет вероятностного характера входящих параметров.

Этот же недостаток характерен и для применяемых в настоящее время методик по расчетам:

контингента работников –

$$R = NH/F, \quad (1.81)$$

потребного оборудования –

$$n_j^{\text{об}} = N_j c_j / \Phi_j, \quad (1.82)$$

где N – программа ремонта вагонов в депо за год; H – трудоемкость ремонта вагона; F – годовой фонд времени работника; N_j – программа ремонта вагонов, их узлов и деталей, проходящих обработку на j -м оборудовании; c_j – затраты станко-часов на единицу программы; Φ_j – действительный годовой фонд времени j -го оборудования.

Для стабильного функционирования вагонное депо должно обладать достаточной преддеповской территорией. Она необходима для того, чтобы можно было осуществить накопление вагонов перед ремонтом,

подбор их по определенным признакам в партии. Опыт работы вагонных депо железных дорог развитых стран показывает, что этому вопросу уделяется должное внимание. Например, преддеповская территория вагонных депо США может одновременно принимать от 200 до 500 вагонов.

Анализ работы отечественных вагонных депо показывает, что в процессе проектирования вопросу создания преддеповской территории не уделялось должного внимания. Это приводит к тому, что для многих вагонных депо вагоны, требующие ремонта, ожидают подачи в ВСУ на тракционных путях. Этим самым не создаются необходимые условия для проведения соответствующего объема работ с вагонами перед подачей их на позиции ВСУ. Можно утверждать, что

$$S^{\text{пл}} = f(N, t_{\text{в}}^{\text{пл}}), \quad (1.83)$$

где $S^{\text{пл}}$ – площадь преддеповской территории; N – годовая программа ремонта вагонов; $t_{\text{в}}^{\text{пл}}$ – время нахождения вагона на территории депо перед подачей на позиции ВСУ.

Выполненные авторами исследования показали, что величина $t_{\text{в}}^{\text{пл}}$ имеет вероятностный характер. Поэтому развитие теории обеспечения депо преддеповской территорией должно вестись по пути перехода к вероятностным моделям.

Аналогичный вывод соответствует и направлению по совершенствованию методики расчета площади станции (емкости станционных путей), которую необходимо предусмотреть для накопления вагонов, ожидающих подачи в плановые ремонты. Существующий подход к расчету станционной территории для накопления этих вагонов, предусматривающий учет только интенсивности проследования вагонов через станцию, не создает необходимых условий для ритмичного обеспечения депо объектами ремонта и зачастую приводит к неоправданному увеличению времени нахождения вагона в неисправном состоянии,

Таким образом, основополагающим моментом в совершенствовании теории и практики расчета основных технико-экономических показателей депо является переход от детерминированных к вероятностным моделям.

Принципиальное значение для разработки имитационных моделей вагонных депо как транспортных объектов имеют:

- а) состав и характер поступающего на обработку потока вагонов, требующих ремонта;
- б) число операций, выполняемых с каждым вагоном на транспортном объекте, и порядок их выполнения;
- в) порядок взаимодействия вагонного депо с другими транспортными объектами и устройствами.

Для дальнейших рассуждений вагонное депо предлагается рассматривать как самостоятельную одно- или многоканальную транспортную систему, в которой за время обслуживания заявок (вагонов) должен быть выполнен на высоком уровне объем работ, предписанный правилами ремонта. Существующие положения по формированию и основным характеристикам функционирования транспортных систем будут характерны, с учетом специфики их работы, и для вагонных депо.

На пропускную способность вагонного депо существенное влияние оказывают следующие факторы:

- характеристика потока заявок (вагонов), поступающего на обслуживание в транспортный объект (ТО);
- технические параметры ТО;
- система и способы обслуживания заявок в ТО;
- способы управления ТО;
- система взаимодействия рассматриваемого объекта с другими ТО.

В настоящее время в вагонных депо железных дорог СНГ применяются поточный и стационарный методы ремонта. Для новых вагонных депо нами предложен принципиально новый метод ремонта – **поточная линия гибкого маневрирования**. Принятый при ремонте технологический процесс определяет состав и порядок выполнения необходимых операций на ТО. Для реализации этого процесса на транспортном объекте предусмотрен ряд устройств. Устройства первого типа характеризуются вместимостью, определяемой числом заявок, которое одновременно может находиться на них. Такие устройства могут непосредственно участвовать в выполнении операций или служить только для размещения обслуживаемых заявок. Для рассматриваемого объекта к таким относятся производственные площадки участков и отделений. Устройства второго типа служат только для непосредственного выполнения операций с заявками (вагоноремонтные машины, сварочные агрегаты и др.).

Формализованные схемы обработки заявок в транспортных объектах, применяющих стационарный, поточный методы ремонта, а также поточные линии гибкого маневрирования представлены на рисунке 1.20. Эти схемы принципиально отличаются одна от другой и имеют важное значение для дальнейших исследований при оценке пропускной способности ТО. Определяется это тем, что пропускную способность могут лимитировать устройства первого и второго типов, а также их совокупность.

Многоканальность объекта определяется числом каналов, по которым одновременно осуществляется обслуживание поступающих заявок. Например, вагонное депо с тремя технологическими нитками является многоканальным. Однако в связи с тем, что эти нитки не отличаются по признаку устройств ни первого типа, ни второго, такой транспортный объект на первой стадии проведения исследований можно считать одноканальным.

Важнейшим элементом транспортной системы, определяющим ее пропускную способность, является **характеристика потока заявок**, поступающего для обслуживания. Отличительными признаками этого потока являются:

- количество направлений, с которых заявки прибывают для обслуживания на ТО, а также освобождают его после окончания обслуживания;
- стабильность потока заявок во времени;
- поточность обработки заявок;
- наличие во входящем потоке заявок с различными приоритетами обслуживания.

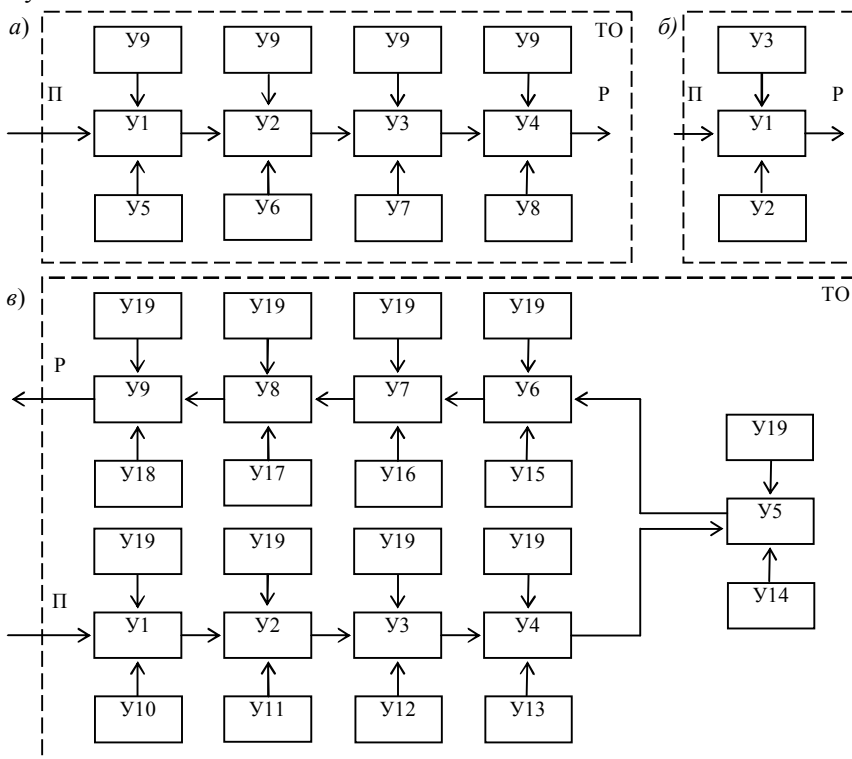


Рисунок 1.20 – Схемы обработки заявок для транспортных объектов, применяющих различные методы ремонта:

а – поточный; *б* – стационарный; *в* – поточные линии гибкого маневрирования

При стационарном методе обслуживания заявок в ТО тупикового типа вход в него будет совмещен с выходом. Заявки обслуживаются не по поточной, а по параллельной схеме. Они разбиваются по приоритету об-

служивания на несколько групп. Первыми обслуживаются заявки, имеющие большой объем работ. После обслуживания заявки покидают ТО по мере их готовности и наличия свободного выхода. Время нахождения каждой заявки в ТО определяется ее техническим состоянием (рисунок 1.21, б). Выходной поток заявок должен обладать одними и теми же характеристиками для P_1, P_2, P_3 .

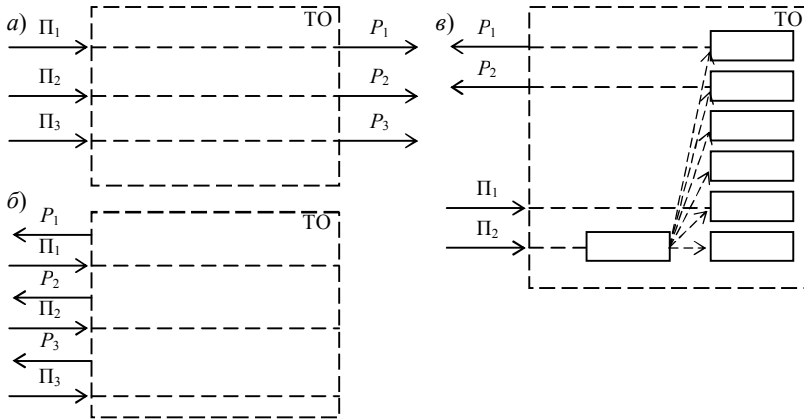


Рисунок 1.21 – Схемы поступления и выхода заявок после обработки в ТО:

а – при поточном методе ремонта; б – при стационарном; в – для поточной линии гибкого маневрирования

При обслуживании заявок на поточной линии гибкого маневрирования входы и выходы транспортного объекта не совпадают. Каждая заявка обслуживается по поточно-параллельной схеме. Поточность применяется при выполнении тех работ, которые практически стабильны для совокупности объектов. Например, обмывка вагонов, выкатка тележек, окраска вагонов и др. После этого заявки обслуживаются по параллельной схеме. Для каждой заявки выполняется объем работ, определяемый ее техническим состоянием. Характеристика выходящего потока одинакова по каждому из выходов (рисунок 1.21, в).

1.9 Методика расчета пропускной способности депо на основе вероятностного подхода, определение расчетного значения фронта работ вагонсборочного участка в условиях неопределенности и риска

Пропускная способность вагонного депо за интервал времени, равный одному году, количественно равна его мощности. Вполне допустимо рассматривать вагонное депо как одноканальный транспортный объект с рав-

номерным поступлением заявок для обслуживания. В формуле (1.78) величина t_B имеет вероятностную основу, поскольку она зависит от технического состояния вагона. Обозначим величины, входящие в формулу (1.78), следующим образом:

$$M_{ц} = Y; \quad \Phi_{ц} F_{ц} / f_B = a; \quad t_B = X.$$

Тогда формула (1.78) будет иметь вид

$$Y = a / X. \quad (1.84)$$

При известной функции распределения величины X необходимо определить закон распределения величины Y . Известно, что a и X всегда больше 0. В этом случае правомерной будет запись

$$F_Y(x) = P(Y \leq x) = P\left(\frac{a}{X} \leq x\right) = P\left(X > \frac{a}{x}\right) = 1 - P\left(X \leq \frac{a}{x}\right) = 1 - F_X\left(\frac{a}{x}\right), \quad (1.85)$$

где $F_Y(x)$ – функция распределения случайной величины Y , выраженная через переменную X .

Дифференцируя выражение (1.85), получаем, что плотности вероятностей случайных величин Y и X связаны соотношением

$$f_Y(x) = \frac{a}{x^2} f_X\left(\frac{a}{x}\right) \quad \text{при } x > 0. \quad (1.86)$$

Пусть величина X подчиняется распределению Вейбулла с параметрами $\alpha > 0$, $\beta > 0$. Тогда

$$f_X\left(\frac{a}{x}\right) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \left(\frac{a}{x}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{a}{\beta x}\right)^\alpha\right), & x > 0; \\ 0, & x \leq 0. \end{cases} \quad (1.87)$$

Подставляя выражение (1.87) в (1.86), получим

$$f_Y(x) = \begin{cases} \frac{\alpha^2}{x^2 \beta^\alpha} \left(\frac{a}{x}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{a}{\beta x}\right)^\alpha\right), & x > 0; \\ 0, & x \leq 0. \end{cases} \quad (1.88)$$

Найдем математическое ожидание:

$$M[Y^K] = M\left[\frac{a^K}{X^K}\right] = a^K M\left[\frac{1}{X^K}\right] = a^K M[X^{-K}],$$

или

$$\begin{aligned}
 M[Y^K] &= a^K \int_{-\infty}^{\infty} x^{-K} f_X(x) dx = a^K \int_0^{\infty} x^{-K} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right) dx = \\
 &= a^K \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \int_0^{\infty} x^{\alpha-K-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right) dx.
 \end{aligned} \tag{1.89}$$

Произведя замену

$$\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha = t, \quad x = t^{1/\alpha} \beta, \quad dx = \frac{\beta}{\alpha} t^{\frac{1}{\alpha}-1} dt,$$

получим

$$M[Y^K] = a^K \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \int_0^{\infty} t^{1-\frac{K}{\alpha}-\frac{1}{\alpha}} \beta^{\alpha-K-1} e^{-t} \frac{\beta}{\alpha} t^{\frac{1}{\alpha}-1} dt = \frac{a^K}{\beta^K} \int_0^{\infty} t^{1-\frac{K}{\alpha}-1} e^{-t} dt = \frac{a^K}{\beta^K} \Gamma\left(1-\frac{K}{\alpha}\right).$$

Математическое ожидание $M[Y^K]$ существует, если $\alpha > K$. Если $K = 1$, то математическое ожидание случайной величины Y

$$M[Y] = \frac{a}{\beta} \Gamma\left(1-\frac{1}{\alpha}\right) \tag{1.90}$$

существует, когда $\alpha > 1$.

Если $\alpha > 2$, то существует и дисперсия случайной величины Y :

$$D[Y] = M[Y^2] - (M[Y])^2 = \frac{a^2}{\beta^2} \Gamma\left(1-\frac{2}{\alpha}\right) - \frac{a^2}{\beta^2} \Gamma^2\left(1-\frac{1}{\alpha}\right),$$

или

$$DY = \frac{a^2}{\beta^2} \left[\Gamma\left(1-\frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1-\frac{1}{\alpha}\right) \right]. \tag{1.91}$$

Таким образом, если время нахождения вагона в ремонте $t_b = X$ подчиняется распределению Вейбулла, то выражения (1.90) и (1.91) характеризуют закон распределения случайной величины $M_n = Y$ – пропускной способности депо.

Если при известных характеристиках закона распределения величины t_b аналитически определить закон распределения пропускной способности депо, то решение может быть получено статистическим моделированием на ЭВМ.

Основным направлением удовлетворения парка грузовых вагонов в плановых видах ремонта является развитие существующих мощностей. Вместе

с тем из года в год все острее будет стоять вопрос и о состоянии грузовых вагонов. И от того, насколько обоснованными будут технико-экономические показатели существующих и предполагаемых к строительству депо, настолько повысится эффективность участия вагонов в перевозочном процессе. В настоящее время основные входные параметры для их расчета, а именно трудоемкость ремонта, время нахождения вагона в нерабочем состоянии, принимаются детерминированными. Такой подход на определенном этапе развития теории позволил получить целый ряд практически важных выводов. Однако на этапе, когда повышается интенсивность работы железнодорожного транспорта, растет стоимость строительства и реконструкции вагонных депо, а также стоимость самого подвижного состава, принимаемые на основе детерминистического подхода решения приводят к значительным экономическим потерям, снижают перевозочную мощность железнодорожного транспорта. Поэтому одним из важнейших направлений по повышению эффективности функционирования и развития системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов является переход к вероятностным расчетным схемам. Вероятностная трактовка ремонтного производства как транспортной системы со случайными (по величине) входящими параметрами является естественным развитием детерминистского подхода. Вероятностные модели позволяют исследовать и учесть случайные отклонения объемных и временных параметров ремонтного производства и их влияние на работу железнодорожного транспорта.

Известно, что основополагающим фактором, определяющим расчет времени простоя в ремонте, контингента работников депо, потребного оборудования, площади преддеповской и деповской территорий, эксплуатационных расходов, является **трудоемкость ремонта вагонов**. Исследованиями установлено, что трудоемкость ремонта i -го типа вагонов в депо является случайной величиной (H_i). Законы распределения H_i изменяются от гиперэкспоненциального до равномерного. Такая картина характерна не только для вагона в целом, но и для его узлов и деталей. Однако следует заметить, что спектр типовых законов распределений для узлов и деталей несколько уже, чем для вагона в целом.

Исходными параметрами для решения вероятностной задачи ремонтного производства служат функциональные зависимости между показателем эффективности (в широком смысле) и случайными величинами, характеризующими свойства вагонного парка, перевозочного процесса, вагоноремонтной базы.

В общем виде, если связь между величинами Y и X является функциональной, т. е.

$$y = G(x), \quad (1.92)$$

то плотность вероятности интересующего показателя Y вычисляется по формуле

$$f(y) = f(x)|g'(y)| = f(g(y))|g'(y)|, \quad (1.93)$$

где f – функция плотности распределения вероятности величины X ;
 $g(y)$ – функция, обратная по отношению к $G(x)$, т. е. $x = g(y)$.

Рассмотрим систему ремонтного производства как систему с входными $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ и выходными $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_m$ ($m \leq n$) параметрами. Будем считать, что на основе статистического анализа известна совместная функция плотности вероятностей $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ случайных величин $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$.

Предположим, что случайные величины $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_m$ ($m \leq n$) функционально связаны с $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, т. е.

$$\begin{aligned} y_1 &= G_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n); y_2 = G_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \dots; \\ y_j &= G_j(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad j = 1, 2, 3, \dots, m. \end{aligned} \quad (1.94)$$

Тогда плотности вероятностей вектора входных и выходных параметров связаны соотношением

$$f(y_1, y_2, y_3, \dots, y_m) = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \left| \frac{dg(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{d(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)} \right|. \quad (1.95)$$

Рассмотрим одну из простейших моделей, связанную с расчетом фронта работ вагоносборочного участка. Будем считать, что годовая программа деповского ремонта вагонов i -го типа, которая должна быть реализована за год – постоянная величина ($N_{\text{деп.}i} = \text{const}$), а между продолжительностью нахождения вагона i -го типа в ремонте и трудоемкостью деповского ремонта существует линейная функциональная зависимость

$$t_{\text{в}i} = aH_{\text{в}i} + b, \quad (1.96)$$

где a, b – эмпирические коэффициенты.

Предположим, что трудоемкость деповского ремонта вагона описывается нормальным законом распределения с функцией плотности распределения

$$f_{H_{\text{в}i}}(x) = \frac{1}{\sigma[H_{\text{в}i}]\sqrt{2\pi}} \exp - \frac{(x - M[H_{\text{в}i}])^2}{2\sigma^2[H_{\text{в}i}]}, \quad (1.97)$$

где H_{bi} – текущее значение трудоемкости ремонта вагона i -го типа; $M[H_{bi}]$ – средняя трудоемкость ремонта вагона i -го типа; $\sigma[H_{bi}]$ – стандартное отклонение трудоемкости деповского ремонта вагона i -го типа.

Перепишем формулу (1.79) в виде

$$\Pi_{pi} = [N_{\text{деп.}i} / (\Phi'_{\text{ц}} k_{\text{см}})] (aH_{bi} + b); \quad (1.98)$$

$$\Pi_{pi} = [N_{\text{деп.}i} a / (\Phi'_{\text{ц}} k_{\text{см}})] H_{bi} + N_{\text{деп.}i} b / (\Phi'_{\text{ц}} k_{\text{см}}). \quad (1.99)$$

Обозначим

$$N_{\text{деп.}i} a / (\Phi'_{\text{ц}} k_{\text{см}}) = c; \quad N_{\text{деп.}i} b / (\Phi'_{\text{ц}} k_{\text{см}}) = d. \quad (1.100)$$

Тогда уравнение (1.99) запишется так:

$$\Pi_{pi} = cH_{bi} + d. \quad (1.101)$$

Используя выражение (1.99), получим

$$f_{\Pi_{pi}}(x) = \int f_{H_{bi}}(g(x)) \left| \frac{dg(x)}{dx} \right|. \quad (1.102)$$

После решения уравнения (1.102), учитывая, что колебания описываются выражением (1.97), получим

$$f_{\Pi_{pi}}(x) = \frac{1}{c\sigma[H_{bi}]\sqrt{2\pi}} \exp - \frac{[x - (cM[H_{bi}] + d)]^2}{2c^2\sigma^2[H_{bi}]}. \quad (1.103)$$

Из полученного принципиального выражения следует важный вывод: *фронт работ ВСУ также есть случайная величина*, которая описывается нормальным законом распределения с параметрами:

математическое ожидание –

$$M[\Pi_{pi}] = cM[H_{bi}] + d, \quad (1.104)$$

стандартное отклонение –

$$\sigma[\Pi_{pi}] = |c|\sigma[H_{bi}] \quad (1.105)$$

Фронт работ ВСУ, при котором с наперед заданной вероятностью γ будет освоена годовая программа ремонта депо, составит

$$\Pi_{pi(\gamma)} = cM[H_{bi}] + d + \Delta_{\gamma} |c|\sigma[H_{bi}], \quad (1.106)$$

где Δ_γ – квантиль нормального стандартного распределения уровня γ . Для вероятности выполнения программы 0,95 квантиль Δ_γ будет равна 1,64.

Из анализа формулы (1.106) вытекает и второй принципиальный вывод: *фронт работ зависит не только от средней характеристики трудоемкости ремонта, но и от размаха ее колебаний*. Чем больше размах колебаний трудоемкости ремонта, тем больше расчетный фронт работ.

При вероятностном подходе коренным образом меняется взгляд на расчет потребного фронта работ ВСУ. Очевидно, что при количестве депо больше единицы ($K > 1$) необходимо найти совместное распределение колебаний количества позиций в зависимости от колебаний трудоемкости ремонта, т. е. $f_{\Pi_p^{(K)} = \sum_{i=1}^K \Pi_{pi}}(x)$.

Учитывая, что колебания количества позиций (фронт работ) в депо описываются нормальным законом распределения, можно доказать, что распределение колебаний совокупности позиций для K депо также описывается нормальным законом распределения с математическим ожиданием

$$M[\Pi_p^{(K)}] = \sum_{i=1}^K \Pi_{pi} \quad (1.107)$$

и дисперсией

$$\sigma^2[\Pi_p^{(K)}] = \sum_{i=1}^K \sigma^2[\Pi_{pi}]. \quad (1.108)$$

Таким образом, для совокупности из K депо

$$\Pi_{p(\gamma)}^{(K)} = \sum_{i=1}^K (c_i M[H_{bi}] + d_i) + \Delta_\gamma \sqrt{\sum_{i=1}^K \sigma^2[H_{bi}] c_i^2}. \quad (1.109)$$

В частном случае, если

$$M[\Pi_{p1}] = M[\Pi_{p2}] = \dots = M[\Pi_{pK}], \quad (1.110)$$

$$\sigma[\Pi_{p1}] = \sigma[\Pi_{p2}] = \dots = \sigma[\Pi_{pK}], \quad (1.111)$$

то

$$\Pi_{p(\gamma)}^{(K)} = KM[\Pi_{p1}] + \Delta_\gamma \sigma[\Pi_{p1}] \sqrt{K}. \quad (1.112)$$

Например, если годовая программа одного депо составляет 2870 вагонов, параметры $a = 0,12$, $b = 0,5$, $\Phi'_u = 2077$, $K_{cm} = 2,2$, $M[H_{bi}] = 70$, $\sigma[H_{bi}] = 21$, то $c = 2870 \cdot 0,12 / (2077 \cdot 2,2) = 0,0754$; $d = 2870 \cdot 0,5 / (2077 \cdot 2,2) = 0,3140$.

Математическое ожидание количества ремонтных позиций

$$M[\Pi_{pi}] = 0,0754 \cdot 70 + 0,3140 = 5,6,$$

а стандартное отклонение

$$\sigma[\Pi_{pi}] = 0,0754 \cdot 21 = 1,58.$$

Тогда расчетное значение фронта работ для вероятности $\gamma = 0,95$

$$\Pi_{p(0,95)} = 5,6 + 1,64 \cdot 1,58 = 8,2 \text{ позиции.}$$

По сравнению с детерминированным подходом, который не учитывает объективных колебаний трудоемкости ремонта, ошибка

$$\Delta = (8,2 - 5,6) \cdot 100 / 8,2 = 31,7 \text{ \%}.$$

Предположим, что на одном из полигонов размах колебаний трудоемкости ремонта в 2 раза меньше, чем в рассмотренном выше примере, т. е. $\sigma[\Pi_{bi}] = 10,5 \text{ чел} \cdot \text{ч}$. В этом случае $\sigma[\Pi_{pi}] = 0,79$, а расчетное значение фронта работ $\Pi_{p(0,95)} = 6,9$. Относительное сокращение мощности депо при уменьшении размаха колебаний трудоемкости ремонта вагона на 50 % составит 16 %.

Вероятностный подход к расчету систем ремонта вагонов позволяет поновому взглянуть на проблему выполнения ремонтной программы в территориальном разрезе. Для иллюстрации возможностей вероятностного метода рассмотрим два полигона сети. На первом полигоне (для упрощения расчетов) расположено 3 депо, а на другом – 6. В каждом из депо $M[\Pi_{pi}] = 5$, а $\sigma[\Pi_{pi}] = 1,0$.

На первом полигоне расчетное количество позиций, которое с вероятностью 0,95 обеспечит выполнение ремонтной программы,

$$\Pi_{p(0,95)}^{(3)} = 3 \cdot 5 + 1,64 \cdot 1,0 \sqrt{3} = 17,8 \approx 18,$$

а на другом –

$$\Pi_{p(0,95)}^{(6)} = 6 \cdot 5 + 1,64 \cdot 1,0 \sqrt{6} \approx 34.$$

Другими словами, увеличение количества депо в 2 раза на полигоне не требует двукратного роста фронта работ. Применительно к современной стратегии оценки работы вагоноремонтной службы это означает, что дорога с большим количеством депо имеет, при прочих равных условиях, и большую вероятность выполнения плана. В рассмотренном примере, если на втором полигоне разместить 36 позиций ($18 \cdot 2$), то (при вышеупомянутых допущениях) вероятность выполнения плана ремонта составила бы

$$P(\Pi_p^{(6)} \leq 36) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{36 - M[\Pi_p^{(6)}]}{\sigma[\Pi_p^{(6)}]}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{36 - 6 \cdot 5}{\sqrt{6 \cdot 1}}\right) = \frac{1}{2} + \Phi(\sqrt{6}) = 0,993,$$

или 99,3 %, где Φ – функция Лапласа.

Это значит, что вероятность выполнения плана на втором полигоне на 4,3 % выше, чем на первом.

Таким образом, вероятностный подход позволяет дать оценку влияния структурного размещения ремонтной базы на фронт работ ВСУ, чего нельзя сделать с позиций традиционного метода.

1.10 Методика расчета потребного оборудования, площадей участков и озеленения на основе вероятных моделей, расчетного количества основных производственных работников депо

В настоящее время расчет потребного количества оборудования производится по формуле

$$n_{об.i} = N_i c_i / (\Phi'_{об} K_{см}), \quad (1.113)$$

где $n_{об.i}$ – количество оборудования, необходимое для выполнения i -й операции по объему N_i ; N_i – программа ремонта, подвергающаяся i -й операции обработки; c_i – затраты станко-часов на выполнение i -й операции; $\Phi'_{об}$ – действительный годовой фонд работы оборудования в одну смену; $K_{см}$ – коэффициент сменности работы участка, в котором выполняется i -я операция.

В вагонных депо, как правило, все участки и отделения работают в одинаковом режиме сменности.

Величина c_i безусловно определяется техническим состоянием узла или детали вагона, т.е. c_i – это вероятностная величина со всеми присущими ей характеристиками. Обозначив

$$N_i / (\Phi'_{об} K_{см}) = b_i, \quad (1.114)$$

можно формулу (1.113) записать как

$$n_{об.i} = b_i c_i. \quad (1.115)$$

Предположим, что колебание величины c_i подчиняется нормальному закону распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma[c_i] \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(M[c_i] - x)^2}{2\sigma^2[c_i]}\right). \quad (1.116)$$

Тогда по известной теореме теории вероятностей и колебание величины $n_{об.i}$ будет подчиняться нормальному закону распределения с параметрами: математическое ожидание –

$$M[n_{об.i}] = b_i M[c_i], \quad (1.117)$$

дисперсия –

$$\sigma^2[n_{об.i}] = b_i^2 \sigma^2[c_i]. \quad (1.118)$$

т.е.

$$f_{n_{об.i}}(x) = \frac{1}{b_i \sigma[c_i] \sqrt{2\pi}} \exp - \frac{(b_i M[c_i] - x)^2}{2 b_i^2 \sigma^2[c_i]}. \quad (1.119)$$

В таком случае расчетное количество i -го типа оборудования, которое с вероятностью 0,95 обеспечит выполнение заданной программы,

$$n_{об.i(0,95)} = M[n_{об.i}] + \Delta_{0,95} \sigma[n_{об.i}], \quad (1.120)$$

или

$$n_{об.i(0,95)} = b_i M[c_i] + 1,64 b_i \sigma[c_i]. \quad (1.121)$$

Величина b_i является постоянной для определенных условий работы депо. Например, при $N_B = 3000$, $\Phi_{об}^i = 2030$ ч, $K_{см} = 2,2$ (расчет потребного количества сварочных аппаратов ВСУ по ремонту крытых вагонов)

$$b_{св} = 3000 / (2030 \cdot 2,2) = 0,672; \quad M[c_{св}] = 3,1 \text{ ст} \cdot \text{ч}; \quad \sigma[c_{св}] = 0,62 \text{ ст} \cdot \text{ч}.$$

Расчетное количество сварочных аппаратов для выполнения работ в вагоносборочном участке

$$n_{св(0,95)} = 0,672 \cdot 3,1 + 1,64 \cdot 0,62 = 3,1.$$

При традиционном подходе к расчету этой величины

$$n_{всц,св} = 0,672 \cdot 3,1 = 2,1 \text{ аппарата}.$$

По сравнению с детерминированным подходом, который не учитывает объективных колебаний трудоемкости ремонта, ошибка

$$\Delta = ((3,1 - 2,1) / 3,1) \cdot 100 = 32,26 \%$$

С такой ошибкой при разных подходах к решению задачи согласиться нельзя.

В существующих инструкциях и нормах дается величина общих затрат, выраженных в станко- или агрегато-часах по каждому из применяемого оборудования. Например, норма для токарных станков при ремонте 4-осного

крытого вагона составляет 2,3. В дальнейшем расчетное количество этих станков по участкам предлагается распределить в процентном отношении. При вероятностном подходе коренным образом меняется взгляд на расчет потребного количества оборудования на уровне вагонного депо, как системы с l независимыми переменными, в качестве которых выступают участки и отделения по ремонту узлов и деталей вагонов. При такой постановке необходимо установить, какому закону подчиняется колебание потребного количества оборудования i -го типа по всем участкам, т. е.

$$f_{\sum_{k=1}^l n_{об.ik}}(x) = f_{n_{об.i1}+n_{об.i2}+n_{об.i3}+\dots+n_{об.il}}(x), \quad (1.122)$$

где l – количество участков в депо, в которых применяется i -е оборудование.

Для нахождения плотности вероятности колебания величины $\sum_{k=1}^l n_{об.ik}$ следует применить вышеуказанное свойство о том, что сумма l нескольких независимых случайных величин также подчиняется нормальному распределению с параметрами:

математическое ожидание –

$$M \left[\sum_{k=1}^l n_{об.ik} \right] = \sum_{k=1}^l b_{ik} M [c_{ik}]. \quad (1.123)$$

дисперсия –

$$\sigma^2 \left[\sum_{k=1}^l n_{об.ik} \right] = \sum_{k=1}^l b_{ik}^2 \sigma^2 [c_{ik}]. \quad (1.124)$$

Тогда для совокупности из l участков расчетное количество оборудования

$$n_{об.i(\gamma)} = \sum_{k=1}^l b_{ik} M [c_{ik}] + \Delta_{\gamma} \sqrt{\sum_{k=1}^l b_{ik}^2 \sigma^2 [c_{ik}]}. \quad (1.125)$$

Рассмотрим распределение сварочного оборудования для совокупности из двух участков – вагонсборочного и тележечного. Входящий поток в систему: $N^{всy} = 3\,000$ ваг., $N^{теп} = 6\,000$ тел., $\Phi'_{об} = 2\,030$ ч., $K_{см} = 2,2$, $M [c_{св}^{всy}] = 3,1$ агрегато·ч, $M [c_{св}^{теп}] = 1,9$ агрегато·ч, $\sigma [c_{св}^{всy}] = 0,62$ агрегато·ч, $\sigma [c_{св}^{теп}] = 0,21$ агрегато·ч. Тогда для вагонсборочного участка $b_{св}^{всy} = 0,672$, а для тележечного – $b_{св}^{всy} = 1,344$.

Расчетное количество сварочного оборудования при суммарном рассмотрении двух участков

$$n_{\text{св}(0,95)}^{\text{всу}} = \sum(0,672 \cdot 3,1 + 1,344 \cdot 1,9) + 1,64 \sqrt{\sum(0,452 \cdot 0,384 + 1,866 \cdot 0,044)} = 4,629 + 1,64 \cdot 0,50 = 5,449.$$

При детерминированном подходе

$$n_{\text{св}}^{\text{всу+тел}} = 3\,000 \cdot 6,9 / (2\,030 \cdot 2,2) = 4,63.$$

По сравнению с детерминированным подходом, который не учитывает объективных колебаний технического состояния узлов вагонов, ошибка

$$\Delta = (5,449 - 4,63) / 5,449 \cdot 100 = 14,50\%.$$

При детерминированном подходе план деповского ремонта будет обеспечен станочным парком с вероятностью меньше 0,95.

Площадь произвольного участка депо является производной от расчетного количества оборудования, а для вагоноборочного участка – фронта работ:

$$S_k = G \left(\sum_{i=1}^n n_{\text{об.}i}(\gamma) \right); \quad (1.126)$$

$$S_{\text{всу}} = G(\Pi_p). \quad (1.127)$$

Ранее было показано, что величины $\sum_{i=1}^n n_{\text{об.}i}^{\text{расч}}$ и $\sum_{i=1}^m \Pi_{pi}$ являются в своей основе вероятностными. Значит, и площадь участков и отделений, которая необходима для обеспечения качественного и своевременного ремонта вагонов, должна рассчитываться, исходя из вероятностной схемы. Известно, что удельный расход площади на одну позицию ВСУ колеблется в пределах 160–200 м². В этом случае, используя результаты исследований, приведенных ранее, получим

$$S_{\text{всу}} = S \Pi_p, \quad (1.128)$$

где S – удельная площадь, приходящаяся на одну позицию с учетом необходимых проездов и проходов.

Поскольку величина Π_p подчиняется нормальному закону, то и величина $S_{\text{всу}}$ будет подчиняться нормальному закону с параметрами:

математическое ожидание –

$$M[S_{\text{всу}}] = S M[\Pi_p] = S c M[H_{vi}] + Sd, \quad (1.129)$$

дисперсия –

$$\sigma^2[S_{\text{всу}}] = S^2 \sigma^2[\Pi_p] = S^2 c^2 \sigma^2[H_{\text{вi}}] \quad (1.130)$$

Плотность вероятности колебания площади вагоноборочного участка будет описываться функцией

$$f_{S_{\text{всу}}}(x) = \frac{1}{S c \sigma[H_{\text{вi}}] \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[x - (S c M[H_{\text{вi}}] + S d)]^2}{2 S^2 c^2 \sigma^2[H_{\text{вi}}]}\right) \quad (1.131)$$

Расчетная площадь

$$S_{\text{всу}(\gamma)} = S(c M[H_{\text{вi}}] + d) + \Delta_{\gamma} S c \sigma[H_{\text{вi}}] \quad (1.132)$$

Для примера, приведенного выше, получим

$$S_{\text{всу}(0,95)} = 180(0,0750 \cdot 70 + 0,3140) + 1,64 \cdot 180 \cdot 0,0754 \cdot 21 = 1474 \text{ м}^2.$$

При детерминированном подходе $S_{\text{всу}} = 1080 \text{ м}^2$, а ошибка

$$\Delta_{\text{всу}} = (1474 - 1080) / 1080 = 36,5 \text{ \%}.$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при традиционном подходе для качественного и полного обеспечения ремонтной программы в депо будет создан дефицит площади вагоноборочного участка на 26,73 %. Проведенные исследования по статистическим данным работы 194 депо сети дорог МПС России подтвердили такой вывод. Действительно многие вагонные депо ($\approx 37 \text{ \%}$) испытывают нехватку производственных площадей по вагоноборочному участку для выполнения установленной программы ремонта, что создает значительные трудности для организации качественного и в полном объеме ремонта вагонов.

Практика работы вагонных депо показывает, что одной из причин неудовлетворительного качества ремонта вагонов является необеспеченность ремонтного процесса рабочей силой. Существующая методика расчета контингента основывается на наивероятнейшем исходе

$$R_{\text{сп}} = N_{\text{в}} H_{\text{в}} / F_{\text{сп}}, \quad (1.133)$$

где $R_{\text{сп}}$ – списочный контингент основных производственных работников депо; $N_{\text{в}}$ – программа ремонта вагонов; $H_{\text{в}}$ – трудоемкость ремонта одного вагона; $F_{\text{сп}}$ – действительный годовой фонд времени одного рабочего, $F_{\text{сп}} = 1860 \text{ ч}$.

Если принять, что

$$e = N_{\text{в}} / F_{\text{сп}}, \quad (1.134)$$

то

$$R_{\text{сп}} = e H_{\text{в}}. \quad (1.135)$$

Для условия, при котором значение величины N_B подчиняется нормальному закону распределения, колебание контингента работников также будет подчиняться нормальному закону с параметрами:

математическое ожидание –

$$M[R_{\text{сп}}] = eM[H_B];$$

дисперсия –

$$\sigma^2[R_{\text{сп}}] = e^2\sigma^2[H_B].$$

Тогда величина $R_{\text{сп}}$ определяется функцией плотности распределения

$$f_{R_{\text{сп}}}(x) = \frac{1}{e\sigma[H_{B_i}]\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - eM[H_{B_i}])^2}{2e^2\sigma^2[H_{B_i}]}\right). \quad (1.136)$$

Для условий задачи, изложенной ранее, получим:

$$e = 2870/1860 = 1,543; \quad M[R_{\text{сп}}] = 1,543 \cdot 70 = 108,01 \text{ чел.};$$

$$\sigma[R_{\text{сп}}] = e\sigma[H_i] = 1,543 \cdot 21 = 32,403 \text{ чел.}$$

Тогда **расчетное количество списочных рабочих**

$$R_{\text{сп}(\gamma)} = M[R_{\text{сп}}] + \Delta_\gamma\sigma[R_{\text{сп}}]. \quad (1.137)$$

Для рассматриваемой задачи $R_{\text{сп}}^{\text{расч}} = 108,01 + 1,64 \cdot 32,403 = 161 \text{ чел.}$

При расчете списочного количества на основе детерминированной модели получим

$$R_{\text{сп}} = 2870 \cdot 70 / 1860 = 108 \text{ чел.}$$

Таким образом, для обеспечения ремонтного производства рабочей силой с вероятностью 0,95 при существующем подходе будет испытываться ее дефицит в размере

$$\Delta_{R_{\text{сп}}} = 32,92 \%.$$

Вместе с тем необходимо отметить, что расчет контингента по общей трудоемкости следует вести на начальной стадии разработки технического задания (приблизительный расчет). При разработке рабочего проекта необходимо произвести подробный расчет по специальностям. В этом случае контингент работников следует рассматривать как функцию нескольких независимых друг от друга переменных:

$$R_{\text{сп}} = G(H_{\text{св}}, H_{\text{сл}}, H_{\text{ст}}, \dots), \quad (1.138)$$

где $H_{\text{св}}, H_{\text{сл}}, H_{\text{ст}}$ – случайные величины, характеризующие соответственно сварочные, слесарные и столярные работы на вагоне.

Поскольку аргументы функции (1.138) независимы и однозначно связаны с $R_{\text{сп}}$, то можно определить плотность вероятности колебания суммарного списочного контингента работников.

Для примера рассмотрим совокупность из двух переменных – $H_{\text{св}}$ и $H_{\text{сл}}$ для вагоноборочного участка. Вероятностный характер сварочных работ, выполняемых на вагоне в ВСУ, характеризуется следующими параметрами (для 4-осного полувагона):

$$M[H_{\text{св}}] = 1,455 \text{ чел} \cdot \text{ч}; \quad \sigma[H_{\text{св}}] = 0,609 \text{ чел} \cdot \text{ч},$$

а для слесарных работ –

$$M[H_{\text{сл}}] = 12,127 \text{ чел} \cdot \text{ч}; \quad \sigma[H_{\text{сл}}] = 5 \text{ чел} \cdot \text{ч}.$$

Математическое ожидание списочного контингента работников

$$M[R_{\text{сп}}] = \sum_{i=1}^2 e H_i = e \sum_{i=1}^2 H_i = 1,543(1,455 + 12,127) = 20,957 \text{ чел.},$$

а стандартное отклонение –

$$\sigma[R_{\text{сп}}] = \sqrt{\sum_{i=1}^2 e^2 \sigma^2 [H_i]} = \sqrt{1,543^2 (0,609^2 + 5,0^2)} = 7,772 \text{ чел}.$$

Тогда расчетное количество списочных рабочих в сумме двух специальностей

$$R_{\text{сп}(\gamma)} = 20,957 + 1,64 \cdot 7,772 = 33,703 \text{ чел}.$$

При детерминированном подходе количество сварщиков

$$R_{\text{св}} = 2\,870 \cdot 1,455 / 1\,860 = 2,245 \text{ чел.},$$

а слесарей –

$$R_{\text{сл}} = 2\,870 \cdot 12,127 / 1\,860 = 18,712 \text{ чел}.$$

Общее количество рабочих по этим специальностям

$$\sum_{i=1}^2 R_{\text{сп}i} = 20,95 \text{ чел}.$$

Количество рабочих, равное 21 чел., обеспечит выполнение работ на вагоне с вероятностью 0,5. Для условия, что вероятность выполнения работ составляет 0,95, будет испытываться дефицит рабочей силы в количестве

$$\Delta_{R_{\text{сп}}} = (34 - 21) / 34 \cdot 100 = 34,23 \text{ \%}.$$

Для полноты картины **необходимо производить расчеты по каждой специальности для каждого узла (участка) вагона в отдельности.** Это объясняется тем, что каждый узел обладает своим полем рассеяния трудоемкости около среднего значения. Например, для столярных работ в ВСУ при ремонте крытых вагонов характерны следующие параметры:

$$M[H_{\text{ст}}] = 6,908 \text{ чел} \cdot \text{ч}; \quad \sigma[H_{\text{ст}}] = 3,719 \text{ чел} \cdot \text{ч}.$$

Математическое ожидание списочного количества рабочих по столярным работам (для ВСУ)

$$M[R_{\text{ст}}] = 1,543 \cdot 6,908 = 10,659 \text{ чел.},$$

а стандартное отклонение

$$\sigma[R_{\text{ст}}] = 1,543 \cdot 3,719 = 5,738 \text{ чел.}$$

Тогда расчетное количество рабочих по столярным работам для ВСУ

$$R_{\text{ст}(0,95)} = 10,659 + 1,64 \cdot 5,738 = 20 \text{ чел.}$$

При традиционном подходе

$$R_{\text{ст}} = 2870 \cdot 6,908 / 1860 \approx 11 \text{ чел.}$$

Тогда дефицит рабочей силы для обеспечения выполнения в ВСУ столярных работ с вероятностью 0,95

$$\Delta_{R_{\text{ст}}} = (20 - 11) / 20 \cdot 100 = 45 \%.$$

Проведенные исследования и полученные результаты позволяют сделать важный вывод. Наибольшее несоответствие расчетного количества списочных работников и фактического, которое определяется на основании детерминистического подхода, достигается при рассмотрении каждой специальности в отдельности. При расчете контингента для участков, отделений и депо в целом это несоответствие уменьшается. Однако для каждого из них дефицит, создаваемый от применения детерминированной основы расчетов, является недопустимым.

Современное вагонное депо должно быть запроектировано при строгом соблюдении технологического процесса и перспектив его развития. Разработку схем генеральных планов депо необходимо начинать с **зонирования территории**, которое осуществляется по следующим признакам: особенность технологии, санитарные требования и пожарная опасность производства, вид транспортного средства, обслуживающего производство. Однако более эффективным является зонирование территории, при котором учитываются технологические особенности производства наряду с указанными выше признаками. При таком подходе всю площадку, выделяемую под строительство вагонного депо, следует условно разбить на четыре зо-

ны: *преддеповскую, производственную, подсобную и складскую*. В настоящее время при выполнении исследований, а также при практическом проектировании вагонных депо основное внимание уделяется производственной зоне, и это вполне обоснованно. Вместе с тем качество продукции вагонного депо во многом будет зависеть и от принятия рациональных решений по преддеповской, подсобной и складской зонам. Преддеповская территория предназначена для размещения на ней прежде всего вагонов, которые были на территории депо с территории станции.

В результате выполненных исследований для Белорусской железной дороги были получены следующие значения величин: $M[t_{\text{в}}^{\text{пд}}] = 16,59$ ч, $\sigma[t_{\text{в}}^{\text{пд}}] = 2,14$ ч, $N = 5\,200$ ваг. Тогда

$$M[\Pi^{\text{пд}}] = 5\,200 / 8\,760 \cdot 16,59 = 9,85,$$

а расчетное количество условных позиций для вероятности 0,95 в предположении нормального закона распределения

$$\Pi_{(0,95)}^{\text{пд}} = 9,85 + 1,64 \cdot 5\,200 / 8\,760 \cdot 2,14 = 11,93 \approx 12 \text{ позиций.}$$

При детерминистическом подходе допускается ошибка

$$\Delta_{\Pi^{\text{пд}}} = (11,93 - 9,85) / 11,93 \cdot 100 = 17,46 \text{ \%}.$$

Дальнейшие расчеты осуществляются по аналогичной схеме при условии, что если количество условных позиций преддеповской территории подчиняется нормальному закону, то и площадь ее – нормально распределенная случайная величина, т. к.

$$S^{\text{пд}} = S\Pi^{\text{пд}}, \quad (1.139)$$

где S – удельная площадь, необходимая на одну позицию, составляет 140–200 м².

Математическое ожидание площади

$$M[S^{\text{пд}}] = S M[\Pi^{\text{пд}}], \quad (1.140)$$

а стандартное отклонение

$$\sigma[S^{\text{пд}}] = S \sigma[\Pi^{\text{пд}}].$$

Функция плотности распределения площади

$$f_{S^{\text{пл}}}(x) = \frac{1}{S \sigma[\Pi^{\text{пл}}] \sqrt{2\pi}} \exp - \frac{(x - SM[\Pi^{\text{пл}}])^2}{2S^2 \sigma^2[\Pi^{\text{пл}}]}. \quad (1.141)$$

Для условия задачи, приведенного выше, получим

$$M[S^{\text{пл}}] = 180 \cdot 9,85 = 1773 \text{ м}^2; \quad \sigma[S^{\text{пл}}] = 180 \cdot 1,27 = 228,66 \text{ м}^2.$$

Тогда расчетная площадь преддеповской территории, которая будет на 95 % удовлетворять охват колебаний времени $t_{\text{в}}^{\text{пл}}$,

$$S_{(0,95)}^{\text{пл}} = M[S^{\text{пл}}] + \Delta_{\gamma} \sigma[S^{\text{пл}}] = 1773 + 1,64 \cdot 228,66 = 2148 \text{ м}^2.$$

Детерминистический подход дает ошибку

$$\Delta_{S^{\text{пл}}} = (2148 - 1773) / 2148 \cdot 100 = 17,46 \text{ \%}.$$

Известно, что вагон с момента выписки формы ВУ-23 некоторое время ($t_{\text{в}}^{\text{сп}}$) находится на станционных путях. Это определяется технологией работы станции и депо. Выполненные авторами исследования показали, что время $t_{\text{в}}^{\text{сп}}$ является случайной величиной. При условии, что величина $t_{\text{в}}^{\text{сп}}$ подчиняется нормальному закону распределения, следует вывод о том, что и площадь станционных путей будет подчиняться нормальному закону, т. к.

$$S_{\text{в}}^{\text{сп}} = (NS / \Phi^{\text{сп}}) t_{\text{в}}^{\text{сп}}. \quad (1.142)$$

Если принять, что

$$NS / \Phi^{\text{сп}} = k,$$

то

$$S_{\text{в}}^{\text{сп}} = k t_{\text{в}}^{\text{сп}}.$$

Для величины $S_{\text{в}}^{\text{сп}}$ как вероятностной будут характерны следующие параметры:

$$M[S_{\text{в}}^{\text{сп}}] = kM[t_{\text{в}}^{\text{сп}}]; \quad \sigma[S_{\text{в}}^{\text{сп}}] = k\sigma[t_{\text{в}}^{\text{сп}}].$$

Расчетная величина площади станционных путей для вероятности 0,95

$$S_{\text{в}(0,95)}^{\text{сп}} = M[S_{\text{в}}^{\text{сп}}] + \Delta_{\gamma} \sigma[S_{\text{в}}^{\text{сп}}].$$

Для условия задачи, описанной выше, будем иметь следующие численные характеристики:

$$k = 5\,200 \cdot 180 / 8\,760 = 106,85; \quad M[S_B^{\text{ср}}] = 106,85 \cdot 18,67 = 1\,994,88 \text{ м}^2;$$
$$\sigma[S_B^{\text{ср}}] = 106,85 \cdot 2,03 = 216,91 \text{ м}^2; \quad S_{B(0,95)}^{\text{ср}} = 1\,994,88 + 1,64 \cdot 216,91 = 2\,350,6 \text{ м}^2.$$

При детерминистском подходе ошибка

$$\Delta_{S_{B, \text{расч}}^{\text{ср}}} = (2\,350,6 - 1\,994,88) / 2\,350,6 \cdot 100 = 15,13 \text{ \%}.$$

1.11 Расчет технико-экономических показателей депо и методология формирования генерального плана

Схема генерального плана вагонного депо представляет собой взаимное расположение участков, отделений основного корпуса, а также вспомогательных и обслуживающих устройств. Оптимальным считается тот вариант генерального плана, при котором соблюдаются все требования СНиПа при минимальных транспортных затратах на переход людей к месту работы, а также на транспортировку узлов и деталей между участками и отделениями.

Основная задача при разработке схем генеральных планов промышленных предприятий – отыскание оптимального объемно-планировочного решения. Специфика грузового вагонного депо как промышленного предприятия заключается в необходимости наличия больших непроизводственных площадей, а также (что, по мнению авторов, является наиболее существенным) резервов пропускной способности участков, отделений и депо в целом. Под непроизводственными площадями будем понимать преддеповскую территорию. Необходимость наличия резерва пропускной способности обуславливается двумя факторами, учитывающими вероятностный характер:

- а) поступлением вагонов, требующих ремонта, на станцию;
- б) трудоемкостью работ, которые необходимо выполнить на вагоне для восстановления его работоспособности.

С учетом этого предлагаемая **методика формирования схемы генерального плана депо** предусматривает выполнение следующих этапов работ:

1 Расчет основных технико-экономических показателей производственных и непроизводственных участков и отделений.

2 Компоновка технологических схем участков и отделений с учетом требований СНиП.

3 Оптимизация взаимного размещения участков и отделений по выбранному критерию.

Отличительная особенность первого этапа, согласно выполненным авторами исследованиям и полученным результатам, заключается в том, что все основные технико-экономические показатели участков, отделений и депо в целом в конечном итоге зависят от размаха колебаний трудоемкости ремонта вагонов, а также их узлов и деталей. Это относится не только к расчету таких показателей, как контингент работников, площадь участка, но и расходы на его отопление, освещение, уборку и т. д. В качестве неперемного условия должно быть требование одинакового уровня доверительной вероятности (p_d), с которыми будут работать участки и отделения. Результаты выполнения этого этапа должны быть представлены в форме таблицы 1.10. В этой таблице указывают характеристики всех участков, отделений, обслуживающих устройств, преддеповской территории. При такой постановке все расчеты на первом этапе могут быть полностью автоматизированы на ЭВМ. А наличие такой формы позволит любому из вагонных депо оценить степень использования наличной пропускной способности и установить перечень участков и отделений, которые в первую очередь необходимо развивать.

На втором этапе осуществляется компоновка по имеющимся площадям и оборудованию участков и отделений с учетом кратности их длины и ширины 6 м. На этом этапе должны быть приняты решения по многоэтажному расположению, где это целесообразно, участков и отделений.

Таблица 1.10 – Результаты расчетов основных технико-экономических показателей депо на примере вагонсборочного участка

Тип вагона и программа		Параметры закона колебания трудоемкости	Параметры вагонсборочного участка								
i	N_i		$R_{ст}$			$n_{ст}$			$S_{ум}$		
			$p = 0,5$...	$p = 1,0$	$p = 0,5$...	$p = 1,0$	$p = 0,5$...	$p = 1,0$
Крытый	$N_1^{кр}$										
	$N_2^{кр}$										
	⋮										
	$N_n^{кр}$										

Третий этап решается по условию минимизации (максимизации) выбранного критерия. Задача по отысканию оптимального варианта является многовариантной. Как показали исследования, выполненные для промышленных предприятий, решать ее следует с применением методов нелинейного программирования.

Таким образом, предлагаемые пути совершенствования методики разработки схемы генерального плана депо позволяют создать необходимые условия для своевременного и качественного выполнения деповского ремонта грузовых вагонов с соблюдением установленных требований.

Рекомендации по реконструкции и проектированию депо по ремонту грузовых вагонов:

1 При оценке пропускной способности вагонных депо их необходимо рассматривать как транспортный объект по обслуживанию заявок. Разработаны *принципиальные схемы вагонных депо* как транспортных объектов для условий применения стационарного, поточного методов ремонта и поточных линий гибкого маневрирования.

2 Для вагонных депо рассчитывается *производственная мощность*. Разработанная методика позволяет при расчете пропускной способности учесть вероятностный характер трудоемкости ремонта вагонов, поступающих в депо. Вероятностная трактовка ремонтного производства вагонов является естественным развитием существующего до настоящего времени детерминистического подхода.

3 Одним из важнейших показателей вагонных депо, от которого зависит выполнение в полном объеме ремонтных работ на вагоне, является *обеспеченность вагонооборотного участка ремонтными позициями*. Результаты исследования показали, что по сравнению с детерминистическим подходом, который не учитывает объективных колебаний трудоемкости ремонта, ошибка в расчете фронта работ ВСУ составляет более 30 %. Было показано, что количество ремонтных позиций зависит от размаха колебаний трудоемкости ремонта, но не прямо пропорционально. Так, например, при уменьшении размаха колебаний трудоемкости на 50 % относительное сокращение количества ремонтных позиций составило 16 %.

4 Вероятностный подход позволяет по-новому взглянуть на проблемы *обеспеченности производственными мощностями* в территориальном разрезе. Он дает возможность оценить влияние структурного размещения ремонтной базы на степень обеспеченности потребными мощностями.

5 Анализ работы вагонных депо показывает, что в большинстве своем они испытывают трудности с *обеспеченностью рабочей силой*. Основной причиной такого положения является то, что при расчете контингента принимается среднее арифметическое значение трудоемкости ремонта. В этом случае обеспеченность ремонтного производства рабочей силой будет гарантирована с вероятностью 0,5. Разработанная вероятностная модель расчета контингента работников учитывает отклонения трудоемкости ремонта от математического ожидания. При детерминистическом подходе в расчете, например, количества сварщиков ВСУ ошибка достигает 40,7 %, с чем нельзя согласиться. Исследования показывают, что трудоемкость ремонта по одному и тому же виду работ для узлов и деталей колеблется с различными уровнями среднего квадратического отклонения. Поэтому несомненно эффективность перехода к расчету контингента работников по каждой специальности с учетом колебаний трудоемкости ремонта узлов и деталей.

6 В настоящее время одним из узких мест в вагонном хозяйстве является *обеспеченность депо станочным оборудованием*. Многие технические средства устарели как физически, так и морально. Поэтому в ближайшее время должно произойти интенсивное обновление и оснащение депо современным оборудованием, при этом важнейшим моментом следует считать выработку обоснованной стратегии обеспеченности им ремонтных программ. Это можно сделать только с позиции вероятностного подхода, потому что, например, при расчете количества сварочных аппаратов при детерминистическом подходе допускается ошибка 32,26 %.

При разработке рабочей части проекта депо производится расчет потребного оборудования в целом, а затем оно распределяется в процентном отношении по участкам и отделениям. Такой подход является причиной необеспеченности по отдельным участкам и отделениям ремонтных программ оборудованием. Это объясняется тем, что по каждому узлу и детали затраты станко-часов также колеблются и подчиняются вероятностным законам со своими характеристиками. Поэтому необходимо с использованием вероятностных моделей определить расчетное количество оборудования по каждому участку и отделению. При этом необходимым условием в расчетах должно быть равенство по всем участкам уровней доверительной вероятности.

7 К расчету производственных площадей участков и отделений следует подходить также с вероятностных позиций, т. к. площадь участка выступает как производная от расчетного количества оборудования. Применение этих моделей показывает их эффективность, поскольку ошибка, например, при расчете площади вагоносборочного участка при детерминистическом подходе составляет 26,73 %.

8 Практически все вагонные депо испытывают трудности в размещении на своей территории вагонов, которые поступают для деповского ремонта. Это является следствием того, что вопрос *обеспеченности депо преддеповской территорией* в большинстве своем решается интуитивно. Основными факторами, определяющими потребную площадь, являются программа ремонта, режим работы депо и время нахождения вагона на территории депо до подачи на позиции ВСУ ($t_{\text{в}}^{\text{пл}}$). Выполненные исследования свидетельствуют, что величина $t_{\text{в}}^{\text{пл}}$ имеет вероятностный характер. Разработанная на основании вероятностных моделей методика расчета преддеповской территории и полученные результаты показали, что при детерминистическом подходе допускается ошибка в результатах до 20 %. На величину $t_{\text{в}}^{\text{пл}}$ существенное влияние оказывают территориальное размещение депо на полигоне дороги, на территории станции и другие эксплуатационные характеристики работы магистрали.

9 В инструктивных указаниях по расчету станций указывается, что *количество путей для накопления вагонов*, требующих ремонта, определяется в основном интенсивностью вагонопотока, проходящего через станцию. Вместе с тем этот вагонопоток колеблется по величине в различное время суток, месяца, года. И это является одной из причин того, что время нахождения вагона на территории станции выступает как вероятностная величина. С учетом этого была разработана основанная на вероятностной модели методика расчета емкости путей станции, которую необходимо иметь, чтобы обеспечивать ритмичную работу станции и вагонного депо. Такой расчет необходимо вести с учетом эксплуатационных и территориальных характеристик дороги. При ориентировке только на среднюю арифметическую величину t_B^{CT} будут допущены существенные (более 15 %) ошибки в расчетах.

10 Основным аргументом в расчете технико-экономических показателей работы депо является *трудоемкость ремонта вагонов*. Используя теорию свертки, можно получить зависимости для расчета основных показателей депо, аргументом в которых будет выступать вероятностная величина трудоемкости ремонта вагонов.

Разработанная на основе вероятностных моделей схема генерального плана депо создаст необходимые условия для качественного выполнения ремонтных работ по восстановлению работоспособности вагона.

В настоящее время железнодорожный транспорт, обеспечивая перевозки грузов и пассажиров, работает в сложных экономических условиях. Стоящая сегодня перед республикой задача резкого повышения эффективности работы всех видов транспорта предопределяет более высокие требования к деятельности каждого из существующих транспортных предприятий. Поэтому особенно актуален вопрос о поиске оптимальных решений в различных отраслях его деятельности.

Основные задачи вагонного хозяйства сводятся к поддержанию грузовых и пассажирских вагонов в работоспособном состоянии, обеспечению качественного и своевременного установленного плана ремонта вагонов, рациональному использованию имеющихся технических средств, достижению наибольшей эффективности работы предприятий.

На Белорусской железной дороге достаточно успешно выполняется программа восстановления работоспособности и ресурса подвижного состава. Однако анализ работы дороги показал, что надежность от отказов вагонов на гарантийных участках существенные. Во многом это связано с техническим состоянием вагонного парка. В настоящее время наблюдается выраженная тенденция старения инвентарного парка грузовых вагонов, что не дает возможности эффективно использовать их в перевозочном процессе. Кроме этого средний срок службы вагонов грузового

парка – 25 лет и процент износа вагонов – 89 % говорят о том, что возможно осложнение ситуации с обеспечением безопасности вагонов на гарантийных участках, поэтому центр тяжести по решению проблемы сохранности вагонного парка и улучшения его технического состояния сейчас должен лежать на вагоноремонтных предприятиях. В первую очередь за счет повышения качества капитального и деповского ремонтов вагонов путем усиления существующей вагоноремонтной базы, рациональной специализации и размещения вагоноремонтных предприятий, оптимизации их структуры, внедрения передовых средств и методов ремонта и других мероприятий. Решение вопросов, связанных с оптимальным вариантом развития вагоноремонтной базы для обеспечения качественного и своевременного ремонта вагонов с минимальными затратами, напрямую определяется обоснованием перспективной потребности в ремонтах инвентарного парка.

Комплексный анализ важнейших показателей работы вагонного хозяйства свидетельствует о том, что решаются эти задачи в настоящее время неэффективно. И одной из причин является несовершенство системы прогнозирования и планирования этих показателей на различных уровнях управления. Поэтому *прогнозирование показателей эффективности работы вагонного хозяйства – один из основных вопросов начального этапа проектирования транспортных систем, создания их генеральных схем, а также поиска наиболее эффективной технологии работы.*

Теоретическим основам и совершенствованию эффективной организации работы подразделений вагонного хозяйства посвящен ряд научных работ отечественных и зарубежных ученых и вместе с тем многие вопросы, связанные с планированием ремонта, развитием и размещением вагоноремонтной базы, остаются до сих пор нерешенными.

Потребность в ремонте определяется принятыми межремонтными сроками, возрастным составом и численностью инвентарного парка вагонов. Наиболее точным методом определения потребности во всех видах ремонта является непосредственное определение даты поступления каждого вагона в ремонт в планируемом году на основе обработки на ЭВМ паспортов вагонов. Массив этих документов может формироваться и обрабатываться в результате решения задачи автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом «Учет инвентарного парка вагонов». В паспорте вагона указываются даты постройки и проведения ремонта, затраты на ремонт и другие сведения. Зная дату проведения последнего ремонта и межремонтные сроки, можно определить, когда и какой вид ремонта ожидает вагон в следующий раз и подсчитать потребность в ремонте в целом по инвентарному парку по каждому типу вагонов. Однако этот метод достаточно эффективно можно применять в условиях плано-предупредительной системы технического обслуживания и

ремонта вагонов (СТОИРВ) по критерию календарной продолжительности эксплуатации. На железных дорогах постсоветского пространства в течение всего исторического периода развития железнодорожного транспорта в основе СТОИРВ применялся данный критерий, согласно которому каждый вагон подлежал плановому виду ремонта через определенный интервал времени, исчисляемый от даты постройки или его последнего планового ремонта. Достоинство такого критерия – возможность обеспечения кратности нормативного срока службы и длительности межремонтных периодов вагона и, как следствие, простота и высокая достоверность прогнозирования вывода вагонов в ремонт, потребности их в обеспечении трудовыми, материальными и финансовыми ресурсами, что значительно упрощает планирование. При такой системе по каждому роду вагона определялись доли из них, которые ежегодно должны были пройти ремонт. В условиях ежегодного проведения планового депоовского ремонта рассчитать суммарную ремонтную потребность несложно. Недостатком является вывод единичного вагона в ремонт независимо от выполненного им объема работы и без учета уровня обеспечения его сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ.

В условиях жестко нормированного планового хозяйства все вагоны за равный промежуток времени имели примерно одинаковый уровень физического износа (техническое состояние) на стадии вывода в ремонт. Однако с переходом к рыночным отношениям этот недостаток становится существенным вследствие нарушения стабильности использования вагонного парка во времени в перевозочном процессе. При таком положении физический износ вагонов при выводе в ремонт различен и колеблется в больших пределах, что влечет за собой подачу части вагонов в ремонт с недоиспользованным техническим ресурсом и, как следствие, необоснованные ремонтные затраты. Другая часть вагонов выводится в ремонт с повышенной степенью физического износа, устранение которого требует в лучшем случае дополнительных затрат, а в худшем – может привести к авариям и крушениям.

Переход к рыночной экономике и достигнутый к середине 90-х годов уровень развития средств вычислительной техники и связи теоретически обеспечивали предпосылки для разработки технологии, предусматривающей слежение в оперативном режиме времени за использованием единичных вагонов в перевозочном процессе и централизованный учет фактически выполненного объема работ каждым вагоном. В 1996 г. было принято решение о разработке и внедрении на сети дорог СНГ принципиально новой системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов с учетом фактически выполненного объема работ. После глубокого анализа и всесторонних обсуждений принципов построения системы было принято решение сохранить календарные сроки капитального ремонта. В отношении норма-

тивов деповского ремонта было принято решение о применении комбинированного критерия, ограничивающего эксплуатацию вагонов объемом выполненной работы и предельно допустимым сроком эксплуатации между плановыми ремонтами, при этом вагон должен выводиться в ремонт при выработке любого из двух нормативов.

Для оценки критерия объема выполненной работы было решено использовать выраженный в километрах общий (груженный плюс порожний) пробег при использовании вагона по прямому назначению. Выбор этого критерия объясняется тем, что на момент начала разработки системы получение этого показателя на всех уровнях управления вагонным хозяйством было наиболее доступно. И в настоящее время в Республике Беларусь действует плано-предупредительная дифференцированная система ремонта, согласно которой сроки проведения плановых видов ремонта регламентированы:

- при достижении 110 тыс. км общего (груженный плюс порожний) пробега, но не позднее чем через 2–3 года (в зависимости от рода и типа вагона) эксплуатации после производства деповского ремонта;

- при достижении 160 тыс. км общего (груженный плюс порожний) пробега, но не позднее чем через 2–3 года (в зависимости от рода и типа вагона) эксплуатации после производства капитального ремонта;

- через 210 тыс. км общего (груженный плюс порожний) пробега, но не позднее чем через 3 года эксплуатации после постройки и капитального ремонта с продлением нормативного срока службы.

При таких условиях существенно усложняется планирование потребности в ремонтах и существующие методики расчета оказываются неэффективными. В предлагаемой методике для расчета потребности в ремонте грузовых вагонов, которая определяется принятыми межремонтными сроками, возрастным составом и численностью инвентарного парка вагонов, применяются следующие зависимости:

$$N_{\text{деп.}i} = N_i z_{\text{деп.}i}; \quad (1.143)$$

$$N_{\text{кап.}i} = N_i z_{\text{кап.}i}, \quad (1.144)$$

где N_i – инвентарный парк вагонов; $z_{\text{деп.}i}$, $z_{\text{кап.}i}$ – коэффициенты потребности вагонов инвентарного парка в деповском и капитальном ремонтах соответственно.

Коэффициенты потребности в деповском и капитальном ремонтах

$$z_{\text{деп.}i} = \frac{D_{\text{к}} S_{\text{ср.}i}}{[nl]_i}; \quad (1.145)$$

$$z_{\text{кап.}i} = \frac{\alpha_{i-1}}{T_{\text{сл}}} + \frac{\gamma_i}{T_{\text{сл}}}, \quad (1.146)$$

где D_k – число календарных дней в году; $S_{cp,i}$ – среднесуточный пробег i -го типа вагона, км; $[nl]_i$ – нормативный межремонтный пробег i -го типа вагонов, км; α_i – общее количество межремонтных циклов за период, равный сроку службы вагона i -го типа; γ_i – доля вагонов i -го типа со сверхназначенным сроком службы; $T_{сл}$ – нормативный срок службы вагона i -го типа.

Тогда формулу (1.143), с учетом того, что межремонтный норматив определяется не только пробегом, но и календарной продолжительностью, можно записать так:

$$N_{деп,i} = N_i \frac{D_k S_{cp,i}}{[nl]_i} K_i, \quad (1.147)$$

где K_i – коэффициент, учитывающий ненаработку i -го типа вагонов, $K_i > 1$

Динамика изменения среднесуточного пробега вагонов i -типа за период 2000–2008 гг. представлена на рисунке 1.22.

Прогнозные значения среднесуточного пробега, полученные по аппроксимирующим линейным зависимостям с учетом существующей динамики его изменения, представлены в таблице 1.11.

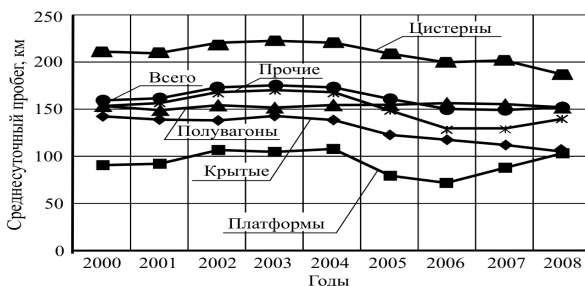


Рисунок 1.22 – Динамика изменения среднесуточного пробега вагонов i -го типа

Таблица 1.11 – Среднесуточный пробег вагонного парка на перспективу
В километрах

Годы	Крытые	Платформы	Полувагоны	Цистерны	Прочие	Всего
2010	99,75	88,29	154,51	191,76	125,93	147,87
2015	75,82	83,71	155,85	177,98	105,98	136,94
2020	51,89	79,12	157,19	164,21	86,04	126,02

С учетом принятой на Белорусской железной дороге периодичности проведения плановых ремонтов, возрастной характеристики парка и прогнозных значений среднесуточного пробега рассчитаны коэффициенты потребности в деповском и капитальном ремонтах (таблица 1.12).

Т а б л и ц а 1.12 – **Коэффициенты потребности в деповском и капитальном ремонтах**

Годы	$z_{кр.деп}$	$z_{платф.деп}$	$z_{полуваг.деп}$	$z_{цист.деп}$	$z_{проч.деп}$	$z_{всего деп}$
2010	0,33	0,29	0,51	0,63	0,42	0,49
2015	0,25	0,27	0,51	0,59	0,35	0,45
2020	0,17	0,26	0,52	0,54	0,28	0,41
2010– 2015	$z_{кр.кр}$	$z_{платф.кр}$	$z_{полуваг.кр}$	$z_{цист.кр}$	$z_{проч.кр}$	$z_{всего кр}$
	0,065	0,096	0,110	0,112	0,058	0,088

Выполненные ранее исследования по обоснованию потребного вагонного парка на перспективу с учетом многопараметрического характера перевозочного процесса и полученные результаты позволили обосновать потребность в выполнении деповского и капитального ремонтов вагонов инвентарного парка Белорусской железной дороги на перспективу. Результаты приведены в таблице 1.13.

Т а б л и ц а 1.13 – **Потребность в плановых ремонтах**

Инвентарный парк вагонов	Потребность в ремонте					
	деповском			капитальном		
	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.
Крытые	610	562	459	120	146	176
Платформы	634	750	780	210	267	288
Полувагоны	2833	3264	3702	611	704	783
Цистерны	4032	4991	5799	717	948	1203
Прочие	3429	3755	3791	474	622	785
В с е г о	11538	13322	14531	2132	2687	3235

Производственная мощность вагоноремонтной базы на Белорусской железной дороге должна удовлетворять потребностям в ремонте:

$$\sum_{i=1}^n M_{вчд} = N_{деп.i} + N_{кр.i}. \quad (1.148)$$

Расчетная мощность вагоноремонтной базы должна быть больше, чем спрогнозированная потребность в ремонте. Это определяется следующим условиями:

- нельзя точно спрогнозировать потребность в ремонте (существуют пессимистичный и оптимистические прогнозы, расчетное значение всегда нужно принимать между ними);
- процесс подхода вагонов на станцию расположения депо, где производится их отбор в ремонт, случайный;
- наработка вагонов в вагоно-километрах – критерий отбора вагонов в ремонт – колеблется в больших пределах.

В таком случае мощность деповской ремонтной базы должна иметь резерв по отношению к потребности в ремонте:

$$\sum_{i=1}^n M_{вчд} = (N_{деп.i} + N_{кр.i}) \varphi, \quad (1.149)$$

где φ – коэффициент, учитывающий наличие (резерв) производственной мощности, $\varphi \approx 1,25$.

Тогда потребная производственная мощность вагоноремонтной базы Белорусской железной дороги на перспективу будет следующая (таблица 1.14):

Таблица 1.14 – Потребная мощность вагоноремонтной базы

Инвентарный парк вагонов	Потребность в деповском и капитальном ремонте			Потребная мощность ВЧД		
	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.
Крытые	730	708	635	913	885	794
Платформы	844	1017	1068	1055	1271	1335
Полувагоны	3444	3968	4485	4305	4960	5606
Цистерны	4749	5939	7002	5936	7424	8753
Прочие	3903	4377	4576	4879	5471	5720
Всего	13670	16009	17766	17088	20011	22208

Экономический эффект реализуемых мероприятий достигается от сокращения необоснованных затрат на содержание инфраструктуры, обеспечивающей ремонт вагонного парка, эффективных капитальных вложений в реконструкцию и проектирование новых отраслевых подразделений, выполнения своевременного и качественного ремонта вагонов с наименьшими затратами.

Результаты научных исследований учтены и используются службой вагонного хозяйства Белорусской железной дороги при решении вопросов, связанных с эффективностью выделяемых средств на развитие вагоноремонтной базы, обеспечивающей безопасное функционирование перевозочного процесса, и являются важной составляющей частью программы развития отрасли до 2020 года, что ведет в целом к повышению эффективности работы железнодорожного транспорта.

ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

2.1 Организация ремонта грузовых вагонов в депо

Подготовка вагонов к ремонту состоит из очистки и обмывки их, определения характера и объема ремонтных работ. Подача вагонов в ВЧД и уборка их с территории депо после ремонта осуществляется по графику, утвержденному руководством депо и станции.

В осмотре вагонов и определении неисправностей участвуют начальник депо или заместитель начальника депо по ремонту, старший мастер или мастер сборочного участка, приемщик вагонов, бригадир по описи. Составляются дефектные ведомости формы ВУ-22, на основании которых выписываются наряды-задания для исполнителей работ. На вспомогательных участках депо комплектуются в готовом виде для постановки на вагон и подаются на сборочный участок следующие узлы: тележки с деталями тормоза; автосцепки; поглощающие аппараты; двери вагонов; загрунтованная обшивка, доски пола; крышки люков полувагонов; воздухораспределители, авторегуляторы, авторежимы, концевые краны, соединительные рукава и др. Кроме того для организации работы сборочного цеха необходимы: создание неснижаемого технологического запаса вагонных деталей и материалов, организация работы ремонтно-заготовительных участков и отделений на кладовую; своевременное снабжение рабочих мест запасными частями и материалами; полное и рациональное использование деталей и материалов, снимаемых с ремонтируемых и исключенных вагонов.

Продолжительность нахождения вагонов в неисправном состоянии $T_{\text{нв}}$ определяется периодом времени с момента выписки уведомления ВУ-23 до оформления уведомления ВУ-36. Этот показатель можно записать следующим образом:

$$T_{\text{нв}} = t_{\text{ст}} + t_{\text{ож}} + t_{\text{рем}}, \quad (2.1)$$

где $t_{\text{ст}}$ – время с момента выписки уведомления формы ВУ-23 до подачи вагона на территорию депо; $t_{\text{ож}}$ – время с момента подачи в депо до поступления его на ремонтные позиции вагоносборочного участка; $t_{\text{рем}}$ – время нахождения вагона на позициях вагоносборочного участка, или время с момента подачи вагона в цех до оформления уведомления ВУ-36.

В отдельных источниках допускается ошибка, когда в значение времени нахождения вагона в неисправном состоянии включается время ожидания вагоном подачи на станционные пути после оформления уведомления ВУ-36.

Оптимальным вариантом обеспечения вагонных депо объектами ремонта является тот, при котором транспортные затраты по передаче вагонов, требующих ремонта, на станцию расположения депо будут минимальными. **Алгоритм решения задачи рационального размещения и специализации депо на заданном полигоне** следующий:

1 По всем станциям полигона анализируют поступление порожних вагонов, из которых возможен отбор в ремонт. При этом необходимо помнить, что разрешается отбирать в плановые виды ремонта (деповской и капитальный) только вагоны, находящиеся в порожнем состоянии, исключая транзитные вагонопотоки.

2 Определяют среднесуточное количество вагонов, которые можно отобрать в ремонт на произвольной станции полигона.

3 Рассчитывают стоимостные показатели по передаче вагонов соседними станциями полигона. Стоимость передачи определяется стоимостью переработки вагона на станции.

Анализ производственно-хозяйственной деятельности вагонных депо показывает, что эффективность их работы во многом определяется **техническим уровнем производства**, т. е. уровнями технических средств, технологии и организации производства и труда.

Ремонт грузовых вагонов в условиях вагонного депо характеризуется достаточно большим разнообразием производственных процессов, различных как по своей структуре, так и по взаимосвязи. Результат производственного процесса во многом зависит от перечня ремонтных работ и объема ремонта. Для процесса ремонта характерна большая номенклатура материалов, узлов и деталей, полуфабрикатов. В процессе ремонта грузовых вагонов, их сборочных единиц и деталей возникают значительные грузопотоки между сборочным и ремонтно-заготовительным участками, что вызывает необходимость обеспечения технологического процесса соответствующим подъемно-транспортным оборудованием.

Специализация депо предусматривает ремонт определенных типов вагонов и имеет ряд преимуществ:

- возрастает производительность труда;
- обеспечивается возможность внедрения поточного метода ремонта вагонов;
- увеличивается уровень механизации и автоматизации технологических операций;
- повышается качество ремонта, эффективность использования основных производственных фондов.

Рассматривая работу грузовых вагонных депо, можно выделить несколько вариантов организации производственных процессов – методов ремонта: поточный, поточно-конвейерный, стационарный, стационарно-поточный, поточно-бригадный, агрегатный, индивидуальный и обезличенный. Важнейшим показателем в работе вагонных депо является ритмичный выпуск вагонов из ремонта, что достигается правильной организацией производственных процессов и применением передовых методов труда. Поэтому в основу организации ремонта вагонов в депо закладываются следующие основные принципы:

- применение поточных и конвейерных методов ремонта вагонов и их частей;
- максимальная параллельность работ и строгое соблюдение последовательности их выполнения;
- замена неисправных деталей и сборочных единиц вагонов новыми или заранее отремонтированными;
- исключение обезлички тележек вагонов;
- механизация работ при выполнении технологических операций (механизмы и приспособления, полуавтоматические линии, механизированный ручной инструмент и пр.);
- применение передового опыта и рациональной организации ремонта.

При *поточном методе* все неисправные вагоны независимо от объема (трудоемкости) ремонта проходят последовательно предусмотренные технологическим процессом все ремонтные позиции ПКЛ с регламентированным тактом («жесткие» поточно-конвейерные линии). Неодинаковый износ деталей и узлов одного и того же типа вагона, обусловленный конструктивными его особенностями, годом постройки и условиями эксплуатации, нарушает одно из важнейших требований потока – постоянство объема ремонтно-сборочных работ. Этим намного усложняются задачи организации ремонта, соблюдения технологии выполнения работ и правил депоовского ремонта, обеспечения качества ремонтной продукции.

Для поточного ремонтного производства в грузовом вагонном депо характерны следующие признаки:

- разделение производственного процесса и установление рациональной их последовательности, определяемой технологическими возможностями предприятия, требованиями техники безопасности, охраны труда и производственной санитарии;
- специализация рабочих мест на выполнении определенных операций;
- единые для всего производственного процесса такт и ритм потока;
- одновременность выполнения работ на всех рабочих местах поточной линии;
- механизация и автоматизация работ.

Практика работы вагонных депо показывает, что у поступающих в депо ремонт вагонов колебания трудоемкости восстановления их работоспособности достигают значительных величин. Уменьшить влияние этого фактора можно путем проведения ряда организационно-технических мероприятий (предварительный подбор вагонов перед установкой их на поточно-конвейерную линию ПКЛ, организация более стройной системы работы ремонтных бригад и пр.).

Поточный метод является передовой формой организации ремонта. При этом методе с наибольшей полнотой осуществляются:

- важнейшие принципы высокоорганизованного производства (пропорциональная производительность в единицу времени всех производственных подразделений; выпуск в равные промежутки времени одинаковых или возрастающих количеств продукции; одновременность выполнения отдельных частей производственных процессов; кратчайший путь, проходимый вагоном и его деталями от момента начала до окончания ремонта;

- комплексная механизация производственных процессов, широкое использование передовой техники, технологии, обеспечение высокой эффективности ремонтного производства.

Правильные и подготовительные работы составляют важнейшую часть ремонтного производства. Особое значение приобретают эти работы в депо при использовании *поточно-конвейерных линий*, когда для каждой ремонтной позиции технологического потока необходимо обеспечить одинаковые объемы по трудоемкости. Поэтому предусматривают разборочно-правильные позиции, оборудованные машинами для правки деформированных элементов рам, кузовов и верхней обвязки полувагонов.

Стационарный (комплексно-уплотненный) метод благодаря простоте организации нашел широкое применение при деповском ремонте грузовых вагонов. Одновременно на ремонтные позиции вагонсборочного участка (ВСУ) подаются вагоны в количестве, равном части сменного задания (например, половины при 8-часовом рабочем дне). Ремонт их осуществляют при постоянных позициях для вагонов комплексными бригадами и заканчивают к установленному сроку (в зависимости от количества постановок неисправных вагонов на ремонтные позиции). Отремонтированные вагоны выводятся с ВСУ с помощью различных маневровых средств. Затем на их место устанавливают следующую партию вагонов, которую выпускают из деповского ремонта в установленный срок (с заданной периодичностью выпуска в течение рабочей смены в соответствии с технологическим процессом работы ВСУ). За счет большей плотности работ, интенсивности и параллельности их выполнения вагоны находятся в ремонте минимальное время.

Значительная плотность работ (одновременно на вагоне работает максимально возможное количество рабочих) при ограниченном времени на их выполнение требует строжайшего соблюдения технологической дисциплины. В комплексные бригады деповского ремонта грузовых вагонов включают: слесарей по ремонту ходовых частей, автосцепки, рамы, кузова; слесарей-автоматчиков; рабочих по очистке подвижного состава при ремонте и транспортировке запасных частей, сборочных единиц и материалов, необходимых для восстановления межремонтного технического ресурса грузового вагона. Рабочих других специальностей – маляров, электросварщиков и пр. – в комплексные бригады не включают. Они работают самостоятельно под руководством мастера вагоносборочного участка или другого, ответственного за ремонт, лица (например, бригадира по малярным работам).

Стационарно-поточный метод ремонта (поточный метод при неподвижном объекте ремонта) заключается в том, что в начале рабочей смены в депо подают одновременно все вагоны сменного плана и расставляют на постоянных рабочих местах ВСУ. Комплексная бригада, разделенная на специализированные группы, приступает к ремонту по заранее разработанному графику работ. Через определенные промежутки времени специализированные группы последовательно перемещаются с одного вагона на другой. Такт работы и порядок перехода рабочих групп выбирается с расчетом, чтобы каждая специализированная группа исполнителей ремонтных работ на вагоне в течение общего простоя вагонов в ремонте выполняла положенный ей объем работ на каждом вагоне, что обеспечивает своевременный выпуск из ремонта всей поданной на позиции ВСУ партии вагонов.

Ряд вагонных депо специализируется по ремонту грузовых вагонов с повышенным объемом работ по устранению неисправностей.

Стационарный метод ремонта грузовых вагонов, несмотря на его простоту, имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что все наиболее трудоемкие работы: подъемка вагонов с выкаткой тележек, транспортировка этих тележек на ремонтный участок, смена автосцепного и ремонт автотормозного оборудования, работы по кузову и раме – необходимо выполнять одновременно на всех вагонах, что вызывает ряд затруднений в организации работ по установленному технологическому процессу ремонта и требует большого количества механизмов, приспособлений и прочей технологической оснастки. Вынужденные переходы рабочих с одного вагона на другой по всему фронту работ вызывают значительные потери рабочего времени.

При стационарном методе ремонта грузовые вагоны с кузовами, имеющими нормальный износ или нормальную трудоемкость, ремонтируют в течение половины рабочей смены. Вагоны с поврежденным кузовом или повышенной трудоемкостью ремонтируют всю смену. В конце смены выпускают из ремонта вагоны с нормальным износом, поданные в обеденный пе-

перерыв (в обеденный перерыв осуществляют выпуск вагонов с нормальным износом и постановку новой партии таких вагонов), а также вагоны с большим объемом ремонтных работ, поставленные на ВСУ в начале смены. Тем самым удастся путем подбора вагонов применить дифференциацию ремонтных циклов, обеспечивая гибкость процесса, снижение среднего простоя и повышение эффективности производства. Кроме того, можно ремонтировать в одном здании сборочного цеха вагоны различных типов, что значительно облегчает их отбор в ремонт и обеспечение депо объектами ремонта. Эти качества стационарного метода ремонта позволяют во многих депо добиваться лучших результатов по сравнению с типовым поточным методом, характеризующимся жестким циклом.

Анализируя работу грузовых вагонных депо, можно отметить, что большинство из них работает при стационарном методе организации производственного процесса с применением *точно-бригадной формы*, при которой ремонт вагонов осуществляют параллельно на разных объектах несколько специализированных бригад, которые перемещаются с одного объекта на другой вместе с применяемой технологической оснасткой и оборудованием. Целесообразно использование в ремонтном производстве совместно стационарного и поточного методов ремонта на ВСУ грузового вагонного депо.

Поточный метод распространяется в вагонных депо не только при ремонте вагонов, но и при ремонте и комплектовке их узлов (например, поточно-конвейерные линии ремонта автосцепок, тормозных приборов, триангелей и т. д.). Применение поточного метода ремонта в условиях вагонных депо дает возможность повысить степень механизации и автоматизации производственных процессов.

При ремонте грузовых вагонов колеи 1520 мм применяют поточно-конвейерные линии со сквозными, Ш-образными, П-образными потоками на вагоносборочных участках депо. Поточные линии ВСУ оборудуют: конвейерами для продольного перемещения вагонов; устройствами для поперечной транспортировки последних; расположенными в технологической последовательности рабочими специализированными позициями, оснащенными необходимыми механизмами для подъема вагонов и выкатки тележек ЦНИИ-ХЗ, разборочно-сборочных слесарных работ, правки деформированных металлических элементов кузовов вагонов, столярных и электросварочных работ, опробования автотормозов и покраски и пр., подкатки отремонтированных тележек и установки на них отремонтированных кузовов вагонов. При этом обезличка тележек не допускается, а перемещение вагонов по позициям ремонта предусматривают или на собственных тележках ЦНИИ-ХЗ, или на технологических транспортных тележках.

Общим недостатком известных «жестких» поточно-конвейерных линий является неизбежность срывов в работе по операциям на специализирован-

ных позициях потока ВСУ вследствие резких колебаний по уровням трудоемкости устранения неисправностей, незавершенное производство при ремонте вагонов. За установленное время такта поточно-конвейерной линии на отдельно взятых ремонтных позициях у вагонов с повышенной трудоемкостью ремонтных работ все неисправности не устраняются, поэтому возникает необходимость повторного прохождения указанных вагонов по позициям потока. Из-за отсутствия возможности маневрирования транспортные средства, перемещаясь конвейером строго друг за другом, не могут изменять продолжительности и очередности прохождения ремонтных позиций. В результате подвижной состав простаивает в ремонте, производительность поточной линии снижается, а себестоимость ремонтной продукции возрастает.

Подбор вагонов перед постановкой на поточную линию (по 2, 3 вагона на позицию) для устранения колебаний трудоемкости ремонта (обеспечение усредненной величины ее по позициям потока) обуславливает повышение затрат на маневровые работы в депо, вызывает необходимость существенного увеличения длины ВСУ, железнодорожных путей отстоя вагонов в депо и, соответственно, капитальных вложений в производство. С отрицательной стороны следует особо отметить необходимость довольно значительного увеличения количества отбираемых в ремонт вагонов с исключением их из рабочего парка для обеспечения некоторого «сглаживания» неравномерности трудоемкости объектов на позициях «жестких» поточно-конвейерных линий ВСУ.

Анализ работы вагонных депо, применяющих поточный метод ремонта, показал, что все предлагаемые мероприятия не могут полностью обеспечить надежную работу поточных линий в грузовых вагонных депо. Несмотря на это, при реконструкции грузовых вагонных депо в большинстве случаев предусматривают внедрение только типового потока с «жесткими» ПКЛ регламентированного такта и удлинение ВСУ для размещения большего числа позиций, что приводит к росту простоя вагонов в ремонте и оказывает отрицательную услугу этому в общем-то прогрессивному методу организации ремонтного производства. Для улучшения работы поточных линий устраивают прицеповые уравнивательные позиции, однако это способствует лишь решению задачи обеспечения устойчивости работы ПКЛ, но не улучшает гибкость производства.

При организации производства в существующих и реконструируемых грузовых вагонных депо возникают значительные трудности вследствие наличия «затупикованных» ремонтных путей вагонно-сборочных участков. Поточный метод ремонта реализуют при использовании П- и Ш-образных поточных линий. При достаточно большом (более пяти) количестве позиций на одной технологической нитке П-образного потока организовывать поточное производство не рекомендуется. Это объясняется большими потерями времени на перемещение объектов ремонта, что, в свою очередь, приводит к уменьшению коэффициента использования рабочего времени поточ-

ной линии. Общим недостатком организации Ш-образного потока в депо является необходимость работы и отдыха специализированных бригад исполнителей ремонтных работ по смещенному графику. Практика работы вагонных депо показала, что указанный недостаток является наиболее существенным. Необходимо учитывать, что при организации П- и Ш-образных потоков в ВЧД в тупиковых вагонсборочных участках надо предусматривать отдельно стоящий участок для выполнения малярных работ (подготовка поверхностей и окраска их после ремонта вагонов).

Известны поточные линии ремонта подвижного состава депо Пятихатки, Ковель, Люблино, содержащие конвейер для перемещения вагонов на собственных и транспортных тележках по расположенным в технологической последовательности позициям разборки, ремонта, сборки; П-образная поточная линия ремонта вагонов, где используется линия с тремя взаимно перпендикулярными ветвями, связь между которыми осуществляется при помощи трансбордерной тележки; поточные линии для ремонта подвижного состава, содержащие ряд однотипных позиций для выполнения наиболее трудоемких операций.

Отмеченный выше недостаток вагоноремонтного поточного производства частично устраняется при использовании известной поточной линии по ремонту полувагонов в США (рисунок 2.1). Одна из позиций этой линии оснащена двумя подъемными кранами П-образной формы, с помощью которых и транспортных тележек кузов вагона переставляют для ремонта в поперечном направлении (относительно продольной оси поточно-конвейерной линии) на специализированную позицию (ранее находившийся в ремонте на этой позиции кузов переставляют на освободившуюся последующую по ходу движения позицию поточно-конвейерной линии). Благодаря такому техническому решению реализуется относительное маневрирование с рельсовыми транспортными средствами и сокращается время нахождения их в ремонте.

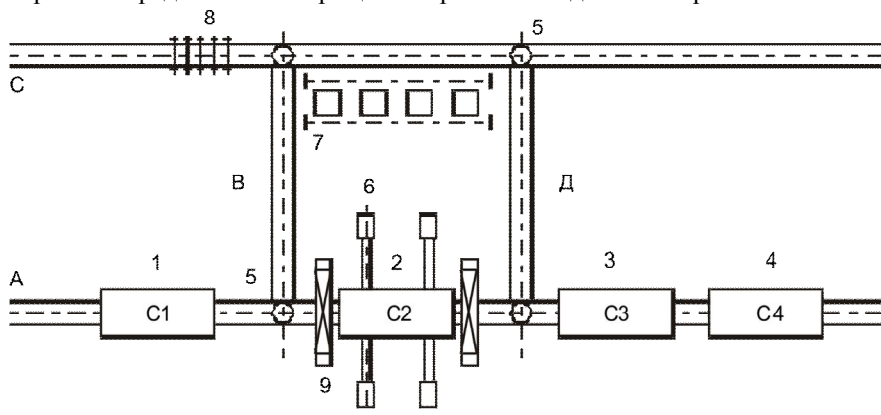


Рисунок 2.1 – Схема поточной линии ремонта полувагонов

Запатентованная поточная линия (ПЛ) ремонта полувагонов отличается тем, что весь процесс ремонта производят на четырех ремонтных участках, размещенных вдоль сквозного железнодорожного пути А, по которому перемещают объекты ремонта в цехе. Отличие такой поточной линии – ее узкая специализация, т. е. приспособленность только для ремонта одного типа вагонов. Объекты ремонта С1 – С4 перемещают по ремонтным участкам 1–4. На ремонтном участке 1 с вагона демонтируют тормозное оборудование, снимают головки автосцепки и поглощающие аппараты. После этого вагон С1 передвигают на своих колесах на ремонтный участок 2, оборудованный двумя рельсовыми кранами мостового типа. Кузов вагона поднимают, тележки его оставляют на железнодорожном пути А и затем откатывают на пути В и С, для чего предусмотрены поворотные круги 5. Далее тележки вагона подвергают разборке и ремонту в отделении 7, оборудованном подвесным монорельсом (транспортером). Колесные пары 8 разобранных тележек вагона отправляют на отдельный ремонтный участок. Кузов вагона в это время поворачивают на 90° вдоль своей продольной оси, и под него подкатывают две специализированные транспортные тележки 6, перемещающиеся по рельсам, размещенным перпендикулярно железнодорожному пути А. Кузов вагона С2 передвигают влево или вправо от сквозного пути А для дальнейшего ремонта. Поскольку на участке 2 имеются четыре тележки для транспортировки перевернутого кузова вагона, то ремонтировать можно одновременно два кузова. Цикл ремонтных операций на участках рассчитан таким образом, что выпуск отремонтированных вагонов идет непрерывно, поскольку время технологических операций на ремонтных участках 1, 3 и 4 вдвое меньше, чем на участке 2. По поперечному пути Д и через поворотный круг 5 под отремонтированный кузов вагона С2 подкатывают его отремонтированные тележки 9. Кузов вагона С2 опускают на свои тележки, и вагон перемещают на участок 3. На участке 3 производят монтаж тормозной системы, установку головок автосцепки, поглощающих аппаратов. На ремонтном участке 4 выполняют осмотр и сдаточные испытания всех систем вагона С4.

Отличительными особенностями специализированной конструкции кранов, установленных на участке 2, является наличие П-образной сварной рамы, которая по внутреннему проему превышает торцовые габаритные размеры полувагона. По вертикальным направляющим рамы перемещается на винтовых домкратах поперечная балка с коленчатым рычагом в центре. При подъеме кузова вагона выступающая часть этого рычага устанавливается напротив отверстия в концевой балке вагона, предназначенного для хвостовика головки автосцепки. После этого два крана сближаются, перемещаясь по рельсам, размещенным параллельно оси пути А. Кузов полувагона фикс-

сируют посредством коленчатых рычагов и стропов с крюками на концах. Далее поперечные балки кранов одновременно поднимаются, а коленчатые рычаги поворачиваются на 90° , при этом линия центров тяжести вагона совпадает с осью вращения рычагов. Указанные операции осуществляют при дистанционном управлении с общего пульта с помощью индивидуальных приводов перемещения кранов, их поперечных балок и вращения рычагов. После этого выполняют операции по выкатке тележек полувагона и перемещению кузова на специализированных транспортных тележках перпендикулярно оси пути А на ремонт.

Преимуществом описанной поточной линии является использование агрегатного метода ремонта, снижение общего времени на его выполнение, возможность ремонта на потоке вагонов разной длины, уменьшение трудоемкости работ при выкатке тележек и их обратной установке под кузов вагона.

Однако указанная поточная линия имеет и существенные недостатки: низкий коэффициент использования производственной площади ВСУ, ограниченную маневренность при ремонте грузовых вагонов со значительными колебаниями трудоемкости работ; при увеличении соотношения поступающих на конвейер вагонов с повышенной трудоемкостью по сравнению с вагонами средней нормированной трудоемкости ремонта предусматриваемой дополнительной позиции становится недостаточно; свобода гибкого маневрирования с объектами ремонта повышенной трудоемкости практически исключается; срывы ритмичности работы поточной линии на ВСУ вагонного депо не устраняются.

Технологические линии деповского ремонта вагонов должны обеспечивать как ремонт разных типов вагонов, так и различные виды и объемы ремонта при максимальной его эффективности. Проблема организации капитального ремонта грузовых вагонов может быть частично решена путем организации такого вида ремонта в депо при соответствующем их техническом оснащении и обеспечении производственными площадями.

Организация капитального ремонта вагонов в депо становится наиболее актуальной как с позиции сохранности вагонного парка и обеспечения безопасности движения, так и с точки зрения экономии капитальных затрат. Одним из основных вопросов ремонтного производства является определение производственной мощности депо с учетом рационального сочетания различных объемов и видов ремонта вагонов (ремонт вагонов с нормальным износом кузова, с поврежденным кузовом и с объемом, соответствующим капитальному ремонту). Депо должны быть способны обеспечить капитальный ремонт вагонов (в сочетании с деповским или без него) с позиции технического уровня (технической оснащенности) и с должным уровнем качества. Для оценки пропускной

способности ВЧД целесообразно учитывать вероятностный характер изменения времени нахождения вагона в ремонте и трудоемкости изготовления с учетом их технологических возможностей и достижения необходимой эффективности. Перспективными являются разработки, предусматривающие создание ремонтных комплексов с *поточными линиями гибкого маневрирования*, позволяющих успешно выполнять разные виды ремонта вагонов и осуществлять ремонт различных транспортных средств с высокой эффективностью производства. Гибкое маневрирование объектами деповского ремонта вагонов должно предусматривать: повышение качества продукции и производительности труда; снижение себестоимости ремонта и улучшение условий труда; сокращение производственного цикла ремонта вагонов; повышение степени механизации производства.

Основными характеристиками технологического процесса, отражающими пропускную способность ПКЛ ВСУ, являются такт и ритм выпуска. *Такт* (интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий определенного наименования) можно выразить соотношением

$$\tau_{\text{л}} = \frac{\Phi_{\text{д}}^{\text{об}}}{N_{\text{в}}} K_{\text{в}} \Pi_{\text{л}}, \quad (2.2)$$

где $\tau_{\text{л}}$ – такт поточно-конвейерной линии, ч; $\Phi_{\text{д}}^{\text{об}}$ – действительный годовой фонд времени работы ПКЛ (при двухсменной работе – 4015 ч); $N_{\text{в}}$ – годовая программа ремонта вагонов в депо; $K_{\text{в}}$ – количество вагонов, находящихся одновременно на одной позиции ремонта; $\Pi_{\text{л}}$ – количество поточно-конвейерных линий.

В практике работы вагонных депо отмечаются величины такта при деповском ремонте грузовых вагонов 60, 80, 96, 120 мин при общем простое в ремонте, не превышающем 8–10 часов.

Второй важнейшей характеристикой технологического процесса является *ритм* выпуска – количество вагонов, выпускаемых в единицу времени:

$$R_{\text{л}} = \frac{N_{\text{в}}}{\Phi_{\text{д}}^{\text{об}} n_{\text{л}}}. \quad (2.3)$$

Количество одновременно ремонтируемых вагонов *составляет фронт работы*:

$$\Phi_{\text{рп}} = R_{\text{л}} t_{\text{рем}} n_{\text{л}}, \quad (2.4)$$

где $t_{\text{рем}}$ – время нахождения вагона на позициях вагоноремонтного участка.

Количество позиций на одной поточной линии

$$C = \frac{t_{\text{рем}}}{\tau_{\text{л}}} \quad (2.5)$$

или

$$C = \frac{H}{\tau_{\text{л}} \delta_{\text{ср}}}, \quad (2.6)$$

где H – трудоемкость ремонта вагона на позициях поточной линии; $\delta_{\text{ср}}$ – средняя плотность работ, определяемая как частное от деления трудоемкости H на время нахождения вагона на поточной линии.

Режим работы – время ее начала и окончания, порядок чередования работы и отдыха. Расчетный годовой фонд рабочего времени одного явочного рабочего $\Phi_{\text{яв}}$ с нормальной продолжительностью рабочего дня определяется по формуле

$$\Phi_{\text{яв}} = (D_{\text{к}} - a_{\text{пр}}) t_{\text{см}} - a_{\text{ср}}, \quad (2.7)$$

где $D_{\text{к}}$ – количество календарных дней в году; $a_{\text{пр}}$ – количество нерабочих (выходных и праздничных) дней в планируемом году; $t_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены, ч; $a_{\text{ср}}$ – количество рабочих дней в году с сокращенным рабочим временем.

В соответствии с Кодексом законов о труде Республики Беларусь трудовым коллективам предоставлено право наряду с шестидневной с одним выходным днем рабочей неделей устанавливать и пятидневную рабочую неделю с двумя выходными днями. Решение о выборе вида недели закрепляется в коллективном договоре. При пятидневной неделе продолжительность ежедневной работы (смены) определяется правилами внутреннего распорядка или графиками сменности с соблюдением установленной продолжительности рабочей недели не более 40 часов. Вместе с тем для всех категорий работников как с нормальной, так и с сокращенной продолжительностью рабочего дня, должно быть обеспечено сохранение годового баланса рабочего времени, рассчитанного по режиму шестидневной рабочей недели. Регламентацию режима рабочего времени производят в графиках сменности, которые согласуют с профсоюзом, утверждают нанимателем и доводят до сведения работников, как правило, не позднее чем за месяц до введения их в действие. Для работников, занятых вспомогательным обслуживанием основного производства (например, выполняющих планово-предупредительный или другой ремонт оборудования), при применении графиков пятидневной рабочей недели выходные дни, исходя из интересов производст-

ва, можно предоставлять в дни рабочей недели, не совпадающие с днями отдыха для рабочих и служащих основного производства.

Годовой фонд рабочего времени одного списочного рабочего $\Phi_{\text{сп}}$ в часах с учетом планируемых невыходов на работу подсчитывают по формуле

$$\Phi_{\text{сп}} = \Phi_{\text{яв}} \left(1 + \frac{E}{100} \right), \quad (2.8)$$

где E – показатель, учитывающий невыходы на работу (очередной и дополнительный отпуска, невыходы по болезни, выполнению государственных и общественных обязанностей и по другим уважительным причинам). Для вагонных депо этот показатель составляет 9–11 % фонда рабочего времени.

Действительный, или эффективный, фонд времени работы оборудования $\Phi_{\text{д}}^{\text{об}}$ определяют с учетом времени на ремонт оборудования. Его можно подсчитать по формуле

$$\Phi_{\text{д}}^{\text{об}} = D_{\text{р}} t_{\text{см}} m_{\text{см}} \left(1 - \frac{K_{\text{об}}}{100} \right), \quad (2.9)$$

где $D_{\text{р}}$ – расчетное количество рабочих дней в году; $m_{\text{см}}$ – число смен работы; $K_{\text{об}}$ – планируемый коэффициент потерь времени на ремонт оборудования, принимаемый равным 4 % при двухсменной работе. Например, если $D_{\text{р}} = 251$ дн.; $t_{\text{см}} = 8$ ч; $m_{\text{см}} = 2$; $K = 0,04$, то, следовательно, $\Phi_{\text{д}}^{\text{об}} = 251 \cdot 8 \cdot 2(1 - 0,04) = 3855$ ч.

При 40-часовой рабочей неделе продолжительность ежедневной работы составляет 8 часов, а предпраздничных дней – 7 часов.

Потребный контингент работников вагонного депо для выполнения технологического процесса ремонта вагонов в соответствии с установленными требованиями определяют расчетом. Численность основных производственных рабочих

$$R_{\text{яв}} = \frac{\sum N_{\text{в}i} H_{\text{в}i}}{\Phi_{\text{яв}} K_{\text{н}}}, \quad (2.10)$$

где $\sum N_{\text{в}i} H_{\text{в}i}$ – суммарная трудоемкость выполнения годовой программы ремонта вагонов (объема всей продукции), нормо·ч или чел·ч; $N_{\text{в}i}$ – программа ремонта i -го типа вагонов; $H_{\text{в}i}$ – трудоемкость i -го типа вагонов,

выраженная в чел·ч или нормо·ч; K_n – коэффициент выполнения норм (если величина трудоемкости задана в нормо·ч, то в формулу подставляется значение $K = 1,14 \dots 1,20$; если трудоемкость принимается в чел·ч, то $K = 1,0$).

Списочное количество основных производственных рабочих

$$R_{\text{сп}} = R_{\text{яв}} K_{\text{сп}}, \quad (2.11)$$

где $K_{\text{сп}} = 1,09 \dots 1,11$ – коэффициент приведения явочной численности рабочих к списочному количеству (принимается $K_{\text{сп}} = 1,09 \dots 1,10$).

При определении *численности вспомогательных рабочих* необходимо учитывать мероприятия по повышению эффективности производства за счет механизации тяжелых и трудоемких работ, совмещения профессий и т. д. Численность вспомогательных рабочих рассчитывается по трудоемкости выполняемых работ и нормам обслуживания (крановщики, стропальщики, слесари-ремонтники, электромонтеры, кладовщики, водители электрокаров и автопогрузчиков и пр., постоянно закрепленные за определенными объектами или рабочими местами). Общая численность вспомогательных рабочих с учетом трудозатрат на хозяйственные нужды, инженерно-технических работников (ИТР) и младшего обслуживающего персонала (МОП) принимается в процентах от расчетного количества рабочих: вспомогательные рабочие – 16; инженерно-технические работники – 6; счетно-конторский персонал – 2; младший обслуживающий персонал – 2.

Требуемое *количество технологического оборудования* рассчитывается в соответствии с трудозатратами на годовую программу ремонта, а для отдельных участков депо и отделений определяется по количеству рабочих соответствующих профессий. Набор технологического оборудования производится по действующим каталогам, опыту работы других передовых вагонных депо. При проектировании количество основного оборудования с достаточной точностью определяют по установленному на ремонт одного вагона расходу станко- и агрегато-часов. На ремонт 4-осных полувагонов они составляют по нормам: токарные станки – 1,9, вертикально-сверлильные – 0,5, поперечно-строгальные – 1,2, фрезерные – 0,4, колесотокарные – 1,5, токарно-накатные – 1,3, электрогазосварочные агрегаты – 6,2; кузнечные молоты – 1,1; столярные станки – 1,5, болторезные и гайконарезные – 0,7.

Количество (расчетное) оборудования

$$N_{\text{ст}} = \frac{N_{\text{в}} H_{\text{ст}}}{\Phi_{\text{д}}^{\text{об}}} \alpha_{\text{т}}, \quad (2.12)$$

где N_B – суммарная производственная программа депо и текущего ремонта вагонов; $H_{ст}$ – затраты станко-часов на один ремонтируемый вагон; α_T – коэффициент, учитывающий потребность в обработке для нужд технического обслуживания (ПТО), прикрепленных к депо (принимается $\alpha_T = 1,18 \dots 1,24$).

Расстановка технологического оборудования должна обеспечивать безопасные условия труда, пожаро- и взрывобезопасность и соответствовать ГОСТ 12.2.003 – 75 «Процессы производственные. Общие требования безопасности».

Трудоёмкость хозяйственных работ и работ по ремонту оборудования и инструмента в депо принимается в размере 12 % от общих затрат человеко-часов на ремонт вагонов.

Ремонтное производство складывается из нескольких основных процессов: обмывка, разборка, испытание на растяжение и дефектоскопирование, ремонт, сборка и окраска. Особенностью ремонтного производства является то, что результат процесса во многом зависит от определения перечня ремонтных работ и объема ремонта. Чем точнее устанавливается предстоящий объем работ, тем устойчивее функционирует ремонтный процесс. Характер и объем предстоящих работ при деповском ремонте, потребность в трудовых и материальных затратах обуславливаются значительными конструктивными особенностями эксплуатируемого подвижного состава одного и того же типа, разными климатическими условиями эксплуатации при различной рабочей нагрузке.

Деповской ремонт грузовых вагонов является довольно трудоемким и в то же время скоротечным процессом. Это вызывает определенные затруднения в управлении производством, требует соединения многообразия технологического оборудования на ремонтных участках и в отделениях вагонного депо. Так, например, при ремонте автосцепного устройства грузовых вагонов требуется 18 единиц оборудования, при ремонте колесных пар – 12. Анализ работы передовых вагонных депо показывает, что для выполнения установленного плана деповского ремонта вагонов на 1 м² площади вагонсборочного участка необходимо в 2-3 раза больше производственных площадей ремонтно-заготовительных отделений. При этом обеспечивается технологический запас деталей и сборочных единиц, необходимых для устойчивого функционирования ремонтного производства в грузовом вагонном депо.

Для учета работ, произведенных при ремонте грузовых вагонов в депо, предусмотрены соответствующие формы учета и отчетности, приведенные в таблице 2.1.

Объем ремонта зависит от продолжительности и интенсивности эксплуатации, совершенства и технологичности конструкции подвижного состава. Ремонт изношенных в эксплуатации деталей вагонов можно производить

путем *восстановления нарушенных размеров* до первоначальных, указанных в конструкторской документации, или до новых ремонтных размеров. Если восстанавливаемую деталь нельзя обработать под ремонтный размер, прибегают к постановке дополнительных деталей, наращивают поверхности наплавкой, газотермическим напылением, металлизацией, гальванизацией (хромированием, осталиванием и пр.), применяют пластическое деформирование. Деталь целесообразно восстанавливать таким способом, при котором обеспечивается надежность ее работы до очередного ремонта вагона, а стоимость восстановления будет ниже стоимости новой детали. Восстанавливать детали можно лишь в пределах тех износов, которые предусмотрены правилами ремонта.

Таблица 2.1 – **Формы учета и отчетности при деповском ремонте вагонов**

Номер формы, ее наименование и назначение	Кто и на основании чего заполняет	Содержание записи, количество заполняемых экземпляров
<p>ВУ-22. <i>Дефектная ведомость.</i></p> <p>Основной документ, в котором указан объем необходимых работ при ремонте вагона. Служит основанием для расценки выполняемых работ, а также для выписки требований на запасные части и материалы. На основании дефектной ведомости проверяют полноту объема выполненных работ, расход запасных частей и материалов на ремонт</p>	<p>Мастер вагонного депо совместно с приемщиком на основании тщательного осмотра вагона</p>	<p>Тип, род, осьность и номер вагона, время и место выполнения последнего периодического ремонта, вид предстоящего ремонта. Записывают все работы, которые должны быть выполнены при периодическом ремонте вагонов. Работы, не вошедшие в предусмотренный формой перечень, вписывают от руки. Обязательно отмечают фактическое время начала ремонта (дата, час и минуты) для определения общего простоя вагона в ремонте. Составляется в одном экземпляре, утверждается начальником или заместителем начальника депо</p>
<p>ВУ-23. <i>Уведомление о подаче неисправного вагона на ремонтные пути.</i></p> <p>Является документом, на основании которого вагон переводят из парка исправных вагонов в парк неисправных, независимо от того, подан он на ремонтные пути или нет</p>	<p>Осмотрщик вагонов по результатам технического осмотра</p>	<p>Составляется в 2 экземплярах под копирку. Первый вручается дежурному по станции, второй (дубликат) – мастеру ремонтного пункта. В получении уведомления дежурный по станции, расписывается в обоих экземплярах и указывает дату, час и минуты получения уведомления.</p> <p>Мастер передает дубликат уведомления работнику, ведущему учет неисправных вагонов. Уведомление хранится в течение года</p>

Окончание таблицы 2.1

Номер формы, ее наименование и назначение	Кто и на основании чего заполняет	Содержание записи, количество заполняемых экземпляров
<p>ВУ-31. <i>Книга номерного учета наличия и ремонта неисправных вагонов грузового парка.</i></p> <p>Служит для учета наличия неисправных вагонов и простоя их в ремонте. Является документом, на основании которого составляется отчетность о наличии и ремонте неисправных вагонов</p>	<p>Работник депо, ведущий учет наличия неисправных вагонов, на основании: уведомлений формы ВУ-23, нарядов формы ДУ-24 составителя на подачу неисправных вагонов в депо; телеграмм от начальников промежуточных станций об отцепке неисправных вагонов от поездов; сопроводительных листов формы ВУ-26; дефектных ведомостей формы ВУ-22; уведомлений о приемке вагонов из ремонта ВУ-36</p>	<p>Тип, осьность, номер вагона, номер поезда, от которого отцеплен вагон, причина отцепки, время вручения дежурному по станции уведомления формы ВУ-23, время фактической подачи вагона в депо; время начала и окончания ремонта (из формы ВУ-36); время простоя вагона от момента вручения ответственному работнику станции уведомления формы ВУ-23 до подачи на ремонтные пути; время простоя от подачи на ремонтные пути до момента вручения дежурному по станции уведомления формы ВУ-36, а также время простоя вагона от начала ремонта до момента вручения уведомления формы ВУ-36; общее время простоя вагона в неисправном состоянии, которое исчисляется от момента вручения дежурному по станции уведомления ВУ-23 до момента вручения ему уведомления ВУ-36</p>
<p>ВУ-36. <i>Уведомление о приемке вагонов из ремонта.</i></p> <p>Является документом, удостоверяющим выполнение ремонта вагона в полном соответствии с правилами, техническими указаниями и чертежами, а также документом о разбраковке неправильно забракованного вагона. На основании уведомления формы ВУ-36 вагоны снимают с учета неисправных и переводят в парк исправных</p>	<p>Работники депо, ведущие учет неисправных вагонов. Подписываются начальником или заместителем и приемщиком вагонов</p>	<p>Тип, род, осьность вагона, номер, вид выполненного ремонта или причина разбраковки. На вагоны, отремонтированные деповским ремонтом, составляется в трех экземплярах, один из которых вручается ответственному работнику станции, другой вместе со счетом направляется в финансовую службу дороги, третий остается в депо</p>

При ремонте *наплавкой и напылением* размеры деталей следует доводить до номинальных независимо от вида ремонта вагонов. *Гальваническое наращивание* применяют для восстановления номинальных размеров и повышения износостойкости поверхностей трения (например, цилиндрических втулок дизелей РПС), нанесения декоративных и антикоррозионных покрытий. *Пластическое деформирование* используют для восстановления размеров и форм изношенных деталей, правки деталей, упрочнения поверхностей. *Осадку* на прессах втулок, валиков и пр. применяют для увеличения поперечного сечения детали за счет ее высоты. Уменьшение высоты осаживаемой детали допускается не более 8–15 %. Наружные размеры полых деталей восстанавливают раздачей за счет увеличения их внутренних размеров (например, поршневые пальцы дизелей и компрессоров). Раздачу выполняют в холодном состоянии сферическими прошивками. Термически обработанные (закалка, цементация) детали предварительно подвергают *отжиму* или *высокому отпуску* (нагрев в электропечах до температуры 500...700 °С). Для восстановления цилиндрических полых деталей, которые изношены по внутреннему диаметру, применяют обжатие. Величина необходимого удельного давления при пластическом деформировании обуславливается пределом текучести материала, соотношением геометрических размеров восстанавливаемой детали, начальных и требуемых размеров.

Правку в вагоноремонтном производстве выполняют статическим нагружением для восстановления формы деталей в холодном состоянии и с подогревом. Правка под прессом снижает усталостную прочность деталей на 15–20 %. При холодной правке в детали возникают внутренние напряжения, которые при эксплуатации могут складываться с напряжениями, возникающими от рабочих нагрузок. В результате этого могут появиться вторичные деформации. При нагреве детали на 400...500 °С в результате правки ее несущая способность восстанавливается до 90 %. Такому нагреву можно подвергать лишь детали, термообработка которых в изготовлении проводилась при температуре не ниже 450...500 °С. Применяют правку наклепом с помощью пневматического молотка с закругленным бойком. Например, правку коленчатых валов, компрессоров осуществляют наклепом щек (при нанесении ударов по нерабочим деталям). Наклепом называют пластическую деформацию поверхностного слоя металла в холодном состоянии. Достоинства правки наклепом: высокая точность и производительность процесса, отсутствие снижения усталостной прочности деталей.

Пластическое деформирование поверхностей для упрочнения деталей выполняют при обработке их роликами и шариками, чеканкой, наклепом при ротационной обкатке и пр. При наклепе повышается предел прочности и твердости наклепанного слоя, а пластические свойства снижаются, т. е. повышается износостойкость. Достигается это за счет сдвига отдельных частей кристаллов металла относительно друг друга по плоскостям скольже-

ния. Образуется слой металла с искаженной кристаллической решеткой, создающий шероховатость на поверхностях сдвига, которая препятствует дальнейшему перемещению зерен. Может происходить и поворот одной части кристаллической решетки в положение, симметричное другой ее части. Твердость повышается примерно на 24 %, глубина наклепа составляет 0,02–0,05 от диаметра накатанной детали. При наклепе в поверхностном слое создаются остаточные сжимающие напряжения, обуславливающие повышение усталостной прочности детали на 20–30 %, достигается высокое качество обработки поверхности при накатке, раскатке и обкатке деталей цилиндрической формы. Среднеарифметическое отклонение микронеровностей обработанной поверхности составляет 0,63–0,16 мкм (шероховатость поверхности – не ниже 8-го класса).

Сварка и наплавка являются наиболее распространенными технологическими способами, применяемыми при восстановлении деталей в вагоноремонтном производстве. Большинство поступающих в ремонт вагонов имеют неисправности, вызванные низким качеством сварных швов. При сварке и наплавке деталей, изготовленных из прокатных и литых среднеуглеродистых и низколегированных сталей, возникают определенные трудности, связанные с нарушением термической обработки, окислением наплавленного металла. Этого можно избежать при правильном выборе способа и режима сварки, сварочных материалов. Особое внимание необходимо уделять качеству выполняемых работ на основе строгого соблюдения технологического процесса восстановления несущих элементов вагонов, качественной подготовки поверхностей перед сваркой, замены трудновыполнимой потолочной сварки на горизонтальную. Важное значение имеют правильная организация и надлежащее выполнение сварочных и наплавочных работ, улучшение условий труда, разработка эффективных методов борьбы с выделяющимися вредными веществами при сварке, повышение производительности труда.

Сварка, наплавка и термическая резка металлов являются ведущими технологическими процессами. Они могут быть ручными, полуавтоматическими и автоматическими. Наиболее широкое применение в производстве находит *электрическая дуговая сварка*. Ручную электродугую сварку и наплавку стальных деталей в вагоноремонтном производстве применяют, главным образом, при сварке швов небольшой длины и наплавке небольших поверхностей, когда применение механизированных способов сварки и наплавки нерационально. Электродугую сварку производят в свободном состоянии или в приспособлениях, механизированную и автоматическую – только в кондукторах и приспособлениях для сварочных работ. Определяющими факторами при сварке являются вид шва, толщина и марка материала, особенности конструкции, применяемый способ сварки и степень его механизации. Преимущества ручной сварки – простота осуществления, не-

сложный инструмент, возможность выполнения в разнообразных условиях. К недостаткам следует отнести низкую производительность, невысокую стабильность качества шва, частые прожоги, особенно тонколистовых материалов из-за трудности регулирования длины дуги.

Механизацию подачи электрода в зону горения по мере его расходования и передвижения дуги вдоль сварного шва осуществляют с помощью полуавтоматической и автоматической сварки. Автоматическую сварку целесообразно применять для выполнения длинных прямолинейных и кольцевых швов при сварке углеродистых и легированных сталей, меди, алюминия, титана и их сплавов. Для сварки швов более сложной конфигурации и меньшей длины применяют полуавтоматы, у которых сварочную головку перемещают вручную, а остальные операции выполняются автоматически. Коэффициент наплавки при автоматической наплавке под флюсом за счет более эффективного использования тепловой энергии в 1,5 раза выше, чем при ручной наплавке, и составляет примерно 14–16 г/А · ч. В зависимости от величины сварочного тока производительность процесса автоматической наплавки колеблется от 1,5 до 10 кг/ч. Толщина слоя наплавленного металла в зависимости от режима может быть получена в пределах от 0,5 до 5 мм и более. Наплавленный слой металла получается равномерный по толщине, что позволяет уменьшить припуск на обработку деталей после наплавки. К недостаткам автоматической наплавки под флюсом следует отнести: высокий нагрев детали при наплавке; невозможность наплавки деталей диаметром менее 40 мм из-за стекания наплавленного металла и невозможности удержания флюса на поверхности детали; необходимость тщательной очистки от окислов во избежание развития коррозии и некоторая трудность в удалении шлаковой корки; необходимость применения термической обработки наплавленного металла для повышения износостойкости; невозможность наблюдения за горением дуги; сложность обеспечения сварки вертикальных и наклонных швов.

Электродуговая сварка в защитных газах может быть ручной, полуавтоматической и автоматической. Сварка с применением углекислого газа и специальных автоматов и полуавтоматов наиболее широко распространена в промышленности. Она отличается производительностью, в два – три раза превышающей производительность ручной сварки. Сварной шов имеет хорошие механические свойства и внешний вид, стоимость сварки в среде углекислого газа в два раза меньше стоимости ручной сварки. В то же время условия труда при полуавтоматической сварке плавящимся электродом (проволокой электродной или порошковой) в среде углекислого газа весьма неблагоприятны. Углекислый газ, препятствуя образованию вредных окислов, сам является источником образования вредных веществ. Поэтому применять указанный вид сварки нужно там, где другие методы сварки неприемлемы или можно применить надлежащие способы надежной локализации

вредных выделений при горении электрической дуги. Наплавка деталей в среде углекислого газа, по сравнению с автоматической наплавкой под флюсом, имеет достоинства: меньший нагрев деталей; возможность наплавки при любом пространственном положении детали; более высокая по площади покрытия производительность процесса (на 20–30 %); возможность наплавки деталей небольшого диаметра (до 10–20 мм и выше); отсутствие трудоемкой операции по отделению шлаковой корки. К числу недостатков этого способа можно отнести повышенное разбрызгивание металла; необходимость применения легированной проволоки для получения наплавленного металла с требуемыми свойствами.

Наплавка деталей вибрирующим электродом с применением охлаждающей жидкости получила наиболее широкое применение. Преимуществом этого процесса является небольшой нагрев детали (около 100 °С); малая зона термического влияния и возможность получения наплавленного металла с требуемой твердостью и износостойкостью без дополнительной термической обработки; достаточно высокая производительность процесса, которая по площади покрытия составляет 8–10 см²/мин. К недостаткам следует отнести снижение усталостной прочности деталей после наплавки на 30–40 %.

Полуавтоматическая и автоматическая *сварка порошковой проволокой* – один из производительных способов сварки и весьма перспективный. С гигиенической точки зрения наиболее благоприятные условия создаются при использовании порошковой проволоки, не содержащей плавикового шпата.

Контактная электросварка (стыковая, точечная и шовная) применяется для сварки стальных, нержавеющей и цветных металлов, а также их сплавов. Кратковременность разогрева свариваемых кромок при пропуске электрического тока исключает окисление соединяемых мест, но процессы сопровождаются искрообразованием и выбрасыванием брызг расплавленного металла.

При изготовлении некоторых деталей вагонов, тормозного оборудования применяют серый и ковкий чугун (например, корпусные детали, соединительные головки тормозных рукавов и пр.). Характерными дефектами указанных деталей являются: трещины, пробоины, повреждения резьбы в отверстиях, отколы. Основной трудностью при сварке чугуна является возможность отбеливания шва в результате быстрого охлаждения наплавленного металла (углерод не успевает выделиться в виде графита и остается в химически связанном состоянии в виде цементита) и выгорания кремния. Сварочный шов получается твердым, хрупким и не поддается обработке. Кроме того, в деталях возникают значительные внутренние напряжения в результате местного нагрева и большой усадки чугуна, появляются поры и раковины (образующиеся тугоплавкие окислы с температурой плавления около 1400 °С создают на поверхности сварочной ванночки пленку, препят-

ствующую свободному выходу газов из расплавленного металла). При восстановлении чугунных деталей применяют два способа сварки: горячую (с подогревом детали в специальных печах до температуры 600...650 °С, сварку ведут ацетилено-кислородным пламенем, присадочный материал – из серого чугуна с повышенным до 3–3,5 % содержанием кремния, флюс – из 50%-ной смеси буры и углекислого натрия для защиты от окисления и удаления окислов) и холодную.

Холодная сварка чугуна в техническом отношении проще. При этом применяется ручная или полуавтоматическая электродуговая сварка стальными электродами или электродами из цветных металлов и сплавов. Сварка стальными электродами – наиболее простой и экономичный способ, но при этом возможно науглероживание и закалка шва, что ухудшает его обрабатываемость. Сварка электродами из цветных металлов менее экономична, но дает хорошие результаты с точки зрения прочности, пластичности и плотности шва (медные электроды 034-1 с покрытием, содержащим железный порошок, и медно-никелевые электроды МНЧ-1 с покрытием УОНИ-13/55).

Институтом электросварки им. Е. О. Патона АН Украины предложен перспективный способ сварки деталей из серого и ковкого чугуна самозащитной электродной проволокой ПАНЧ-11.

Основной особенностью сварки алюминиевых сплавов является их интенсивное окисление с образованием тугоплавких окислов (температура плавления окислов 2050 °С более чем в три раза превышает температуру плавления алюминия). Окислы алюминия остаются в наплавленном металле (имеют большой удельный вес) в виде включений и снижают его прочность. Алюминиевые сплавы в расплавленном состоянии активно растворяют водород, который при быстром охлаждении металла образует поры и раковины в сварочном шве. При сварке в деталях из алюминиевых сплавов возникают значительные внутренние напряжения, вызывающие остаточные деформации восстановленных деталей. Для снижения внутренних напряжений необходимо предусматривать при организации сварочного производства подогрев деталей перед сваркой до температуры 250...300 °С и медленное охлаждение после сварки (внутренние напряжения в деталях обуславливаются большой литейной усадкой при охлаждении расплавленного алюминиевого сплава и высоким коэффициентом его линейного расширения). Наиболее широкое применение при восстановлении деталей из алюминиевых сплавов нашли ацетилено-кислородная газовая и аргонодуговая сварки. При сварке неплавящимся вольфрамовым электродом в среде инертного газа аргона присадочный материал (прутки диаметром 6–8 мм, отлитые из сплава алюминия с содержанием 5–6 % кремния) вводят в электрическую дугу, как при газовой сварке. Электродуговую сварку алюминиевых сплавов

проводят постоянным током при обратной полярности электродами ОЗА-2, которые изготавливают из сварочной проволоки св. АКЗ или АК-10.

При сварке возможны дефекты сварного шва, местные дефекты и деформации. Характерными дефектами являются: *непровар металла, пережог, подрез кромок деталей, наплыв присадочного металла, шлаковые и флюсовые включения, выплески, раковины, скрытые и поверхностные трещины, поры*. Скрытые внутренние дефекты сварочных швов обнаруживаются металлографическими исследованиями, просвечиванием и испытанием швов на герметичность. Магнитный метод контроля позволяет обнаружить в сварочном шве внутренние трещины, места непровара металла и шлаковые включения. Магнитная дефектоскопия сварных швов осуществляется «мокрым» способом. По местным скоплениям магнитного порошка судят о наличии дефектов в шве. Просвечивание сварных швов рентгеновскими или гамма-лучами позволяет регистрировать дефекты на светочувствительной пленке. Различная степень поглощения участками поверхности шва указывает на наличие дефекта. Для расшифровки снимков пользуются эталонами рентгенограмм. Прочность соединений проверяется испытанием при ударных статистических и повторно-статистических нагрузках технических образцов или деталей.

Сварка трением, электронно-лучевая, лазерная плазменная сварки и наплавка – новые виды сварки, мало распространенные в промышленном производстве, однако являются весьма перспективными.

Сварочное оборудование для автоматической сварки выбирают в зависимости от вида сварки, габаритных размеров изделий, требуемых параметров режима сварочного процесса. Рабочее место сварщика состоит из механизмов для подачи электродной проволоки, перемещения электрической дуги по шву, регулирования и установочных перемещений сварочной головки и изделия; электрической аппаратуры для управления работой установки; подводки электрического тока; приспособления (сварочный стенд) для укладки изделия; подъемника для постановки и снятия изделия со стенда; устройства для подачи флюса или защитного газа в зону горения дуги; установки для питания сварочным током. Выбирать конструкцию сварочного стенда следует с учетом размеров и конфигурации изделия, особенностей выполнения сварочных работ. Сборочно-сварочная оснастка подразделяется на стандартизованную, универсально-сборную и специальную.

Тепловая резка металлов предполагает все виды кислородной, плазменной, электродуговой резки металлов, а также новые виды сварки, такие, как газолазерная и резка электронным лучом. Наиболее распространена *ацетилено-кислородная разделительная* резка. В качестве горючих газов применяют и сжиженные газы – заменители и природный газ. В последнее время внедряется новый метод *плазменно-дуговой* резки, которым эффективно можно обрабатывать легированные и нержавеющей стали, цвет-

ные металлы и сплавы. Применение сварки и тепловой резки металлов вызывает необходимость разработки эффективных методов борьбы с выделяющимися вредными веществами, изучения условий их образования и надежной локализации путем создания местных отсосов, встроенных в технологическое оборудование, использования экономичных систем общеобменной вентиляции. Степень вредности различных способов сварки возрастает в таком порядке: газовая; электродуговая; сварка вольфрамовым электродом и в инертном газе; плазменно-дуговая резка, сварка и наплавка.

Проектирование рациональных систем общеобменной вентиляции ведется в комплексе с воздушным отоплением или охлаждением производственных помещений. Основной задачей при проектировании общеобменной вентиляции является правильное определение потребного воздухообмена, которое выполняется на основании данных о количестве выделяющихся вредных веществ. Эффективность систем общеобменной вентиляции определяется, в первую очередь, выполнением установленных санитарно-гигиенических требований при относительно небольших энергозатратах и металлоемкости систем. Основными путями снижения энергозатрат на вентилировании сварочных участков являются: совершенствование местных отсосов, использование рациональных схем подачи и удаления воздуха с минимальным коэффициентом неравномерности распределения вредных веществ по объему помещения.

Необходимо предусматривать наиболее эффективные технологические процессы восстановления деталей вагонов электросваркой и прогрессивное технологическое оборудование. Электросварочные и наплавочные работы следует выполнять при отсутствии или минимальном поступлении вредных веществ в воздушную среду производственных помещений, в атмосферу и сточные воды, минимальном выделении тепла в производственные помещения, ограничении шума, вибрации, ультразвука и статического электричества в соответствии с установленными нормами проектирования промышленных предприятий. Технологические процессы на ремонт основных деталей и сборочных единиц вагонов разрабатываются непосредственно на ремонтных предприятиях и утверждаются их руководителями. Подготовка к сварке и наплавке заключается в очистке, осмотре и подготовке дефектных мест детали к последующим электросварочным операциям.

Качество сварных конструкций следует контролировать систематически на всех этапах ремонта и изготовления деталей. Порядок контроля должен быть указан в карте технологического процесса (внешним осмотром, измерительными инструментами, испытанием на непроницаемость, просвечиванием рентгеновскими или гамма-лучами, ультразвуковым методом, механическими испытаниями, методами магнитного контроля). *Методы контроля качества* сварных соединений принимают в зависимости от

конкретных условий проектирования, области применения, характера дефектов и должны соответствовать требованиям ГОСТ.

Контролю внешним осмотром должны подвергаться все сварные швы в соответствии с требованиями по их дефектовке. Причинами возникновения дефектов в сварных соединениях могут быть: некачественная подготовка и сборка, неправильная технология ведения сварочных работ, несоблюдение установленного режима сварки, несоответствие и низкое качество сварочных материалов. Для выявления внешних дефектов сварной шов и прилегающие к нему поверхности должны быть очищены от шлака и загрязнений на ширину не менее 20 мм по обе стороны шва. При контроле внешним осмотром могут быть установлены дефекты размеров и форм сварного шва, трещины в сварном шве, подрезы зоны плавления, наплыв металла в сварном соединении (внешние дефекты сварных соединений). Непровары, поры, шлаковые включения, свищи, сквозные трещины сварных соединений должны выявляться при помощи неразрушающих методов контроля.

Исправление дефектных мест в сварных швах производят повторной заваркой после удаления дефектного участка шва и подготовки мест под сварку. Сварные швы с внутренними дефектами, выявленными неразрушающими методами контроля, должны быть удалены, вновь заварены и подвергнуты повторному контролю. Предъявляемые к окончательной приемке сварные конструкции не должны быть окрашены. Все вагонные детали, отремонтированные сваркой, должны осматривать приемщики вагонов и мастер.

В грузовых вагонных депо, независимо от их специализации по типам ремонтируемого подвижного состава, необходимо предусматривать: отделение ремонта электросваркой деталей ходовых частей вагонов; отделение ремонта сваркой деталей автосцепного устройства вагона; сварочные посты вагонсборочного участка, текущего отцепочного ремонта вагонов; сварочное отделение участка ремонта и обслуживания технологического оборудования депо; термическое отделение по подготовке к сварке сварочных материалов, предварительному нагреву деталей перед сваркой и термической обработкой отремонтированных деталей в соответствии с предъявляемыми требованиями.

В специализированных грузовых вагонных депо предусматриваются сварочные посты по ремонту сваркой крышек разгрузочных локот и торцовых дверей полувагонов, дверей крытых вагонов, металлических бортов платформ и пр.

Постоянные места сварщиков следует оборудовать в специальных вентилируемых кабинах со светонепроницаемыми стенками из несгораемого материала высотой не менее 2 м (временные рабочие места необходимо ограждать переносными щитами, ширмами). Свободную площадь в сварочной кабине следует предусматривать не менее 3–4 м². Чтобы повысить коэффициент использования и коэффициент мощности сварочного оборудования, уменьшить потери электроэнергии, а также более рационально использовать производственные площади, необходимо применять систему питания

группы близко расположенных сварочных постов от одного или нескольких многопостовых источников питания сварочной дуги. Для регулировки сварочного тока на рабочих местах должны быть установлены балластные реостаты.

Потребное количество электросварочного оборудования вагонного депо подсчитывается, исходя из общего времени, затрачиваемого на производство сварочных работ для годового выпуска вагонов из ремонта, годового расчетного фонда времени работы сварочного оборудования и коэффициента его использования. *Коэффициент использования* при ручной сварке – 0,7–0,8, а при автоматической – 0,90–0,95. Установлены *нормы расхода агрегато-часов* на ремонт одного вагона, позволяющие с достаточной точностью для проектных целей определить количество электрогазосварочных агрегатов в зависимости от типа ремонтируемых вагонов: для крытых вагонов – 6,3, полувагонов – 6,2, платформ – 6,0, цистерн – 5,1 агрегато-часов на единицу ремонта. При проектировании дополнительно необходимо учитывать электросварочные работы для хозяйственных нужд и потребностей пунктов технического обслуживания вагонов.

Соблюдение технологии сварочных работ, состояние оборудования и других средств технологического оснащения сварочного производства ежегодно проверяется постоянно действующей комиссией, утверждаемой начальником вагонного депо. Контроль за соблюдением инструкции по сварке и наплавке при ремонте вагонов осуществляется местными органами Гостехнадзора путем проверки работы постоянно действующих комиссий депо.

Технологическая планировка грузового вагонного депо в значительной степени определяется уровнем специализации, выпуском ремонтной продукции в заданном объеме с высоким качеством восстановления работоспособности подвижного состава в установленные сроки, характером применяемых технологических процессов и другими особенностями ремонтного производства. Разработка рациональной технологической планировки главного производственного корпуса вагоноремонтного предприятия базируется на следующих *основных положениях*:

- снижение затрат на транспортировку комплектующих и ремонтируемых сборочных единиц и деталей вагонов, поточность производства, соблюдение санитарно-технических и противопожарных требований, перспективы развития предприятия и совершенствование организации и технологии ремонта;

- обеспечение стабильности функционирования и повышение производительности поточно-конвейерных линий на ВСУ существующих грузовых вагонных депо, а также проектируемых линейных вагоноремонтных предприятий, улучшение качества деповского ремонта подвижного состава.

Состав производственных участков и отделений в депо устанавливается в соответствии с технологическим процессом ремонта, обработки и испытания деталей и требованиями охраны труда. Склады металла, заготовок,

полуфабрикатов, комплектующих деталей, инструментально-раздаточные кладовые следует размещать в непосредственной близости к соответствующим производственным участкам. Площадь складских помещений на программу 6 000–10 000 вагонов составляет 720–1 200 м².

Высокий уровень производства не может быть достигнут без учета рациональной технологической планировки производственных помещений депо. Все ремонтно-заготовительные отделения необходимо планировать с учетом технологического потока на вагонсборочном участке и участке подготовки вагонов к ремонту. Взаимосвязь и расположение участков и отделений депо, приближенных к сборочному участку и расположенных напротив соответствующих ремонтных позиций поточных линий ВСУ, предполагает обеспечение перемещения снятых с вагонов сборочных единиц и деталей в ремонт по кратчайшим технологически обоснованным маршрутам.

Примерная технологическая схема планировки основного производственного корпуса грузового вагонного депо с полной специализацией ремонтных участков и отделений показана на рисунке 2.2.

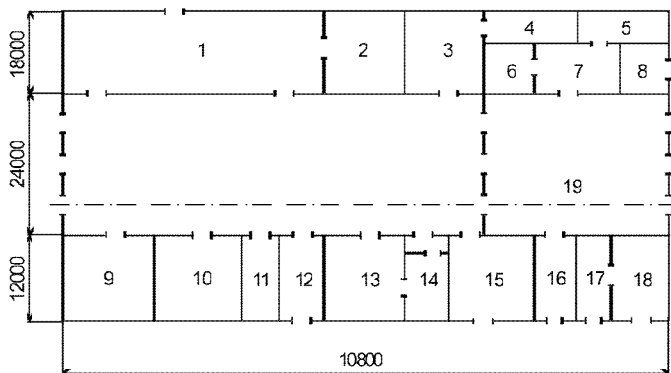


Рисунок 2.2 – Схема планировки основного производственного корпуса вагонного депо по ремонту платформ:

- 1 – производственный участок ремонта тележек, колесных пар, буксовых узлов с роликовыми подшипниками; 2 – отделение ремонта и комплектовки подшипников качения; 3 – оборотная кладовая; 4 – склад хранения запасных частей и материалов; 5 – лаборатория окрасочно-сушильного отделения ВСУ; 6 – кладовая лакокрасочных материалов; 7 – краскозаготовительное отделение; 8 – вентиляционная камера и узел управления установкой для автоматического пожаротушения; 9 – отделение по ремонту металлических бортов платформ; 10 – контрольный пункт автосцепки (КПА); 11 – электрогазосварочное отделение; 12 – кузнечно-рессорное отделение; 13 – отделение механической обработки деталей вагонов; 14 – инструментально-раздаточное отделение; 15 – деревообрабатывающий участок (столярное отделение); 16 – отделение ремонта автотормозной арматуры и авторегуляторов; 17 – слесарно-сборочное отделение; 18 – участок ремонта и обслуживания технологического оборудования депо; 19 – отделение окраски и сушки вагонов

Дальнейшее совершенствование технологических схем грузовых вагонных депо возможно путем новой планировки производственных участков и отделений, размещения поточно-конвейерных линий ремонта вагонов, их

сборочных единиц и деталей, при которых значительно сокращаются грузопотоки и улучшается взаимосвязь производственных процессов. Примерная технологическая схема одного из возможных решений указанной задачи представлена на рисунке 2.3.

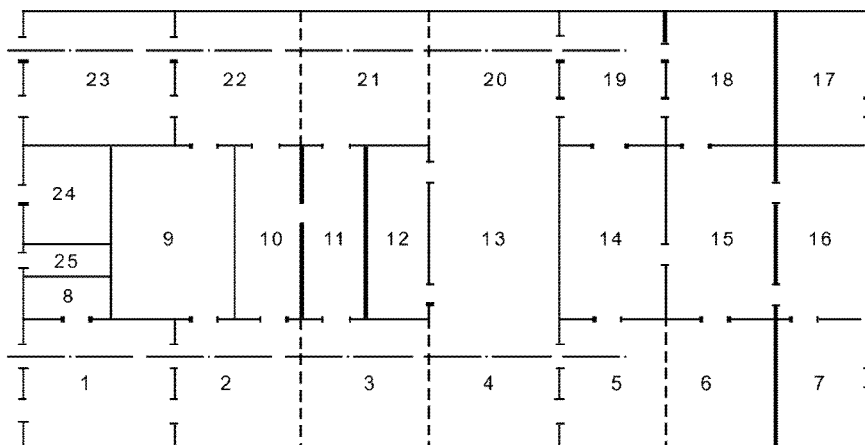


Рисунок 2.3 – Технологическая схема вагонного депо со специализированным производственным участком ремонта кузова и рамы вагона:

1 – участок обмывки и очистки вагонов; 2 – демонтаж автотормозных приборов и тормозного оборудования; 3 – демонтаж узлов кузова и рамы вагона, требующих ремонта с отъемкой, правка деформированных элементов; 4 – подкатка вагона, выкатка тележек, демонтаж автосцепного оборудования, установка кузова на пульсирующий конвейер (трансбордер); 5 – обмывка тележек, выкатка колесных пар; 6 – демонтаж буксовых узлов, обмывка колесных пар и букс; 7, 17 – складские помещения; 8 – технологическое оборудование участка обмывки и очистки вагона; 9 – автоконтрольный пункт тормозов (АКП); 10 – деревообрабатывающий участок; 11 – отделение ремонта крышек люков, дверей и других элементов кузова; 12 – контрольный пункт автосцепки (КПА); 13 – ремонт кузова и рамы вагона; 14 – участок ремонта рамы тележек и рессорно-пружинных комплектов; 15 – участок ремонта колесных пар и буксовых узлов; 16 – ремонтно-механическое отделение; 18 – накопление отремонтированных колесных пар со комплектованными буксовыми узлами; 19 – установка рам тележек на колесные пары, регулировка и накопление отремонтированных тележек; 20 – сборка автосцепного оборудования на вагонах, подкатка тележек, постановка кузова на отремонтированные тележки; 21 – монтаж крышек люков, дверей и других элементов кузова; 22 – сборка и испытание автотормозного оборудования вагонов; 23 – окрасочно-сушильное отделение; 24 – краскозаготовительное отделение, кладовая и лаборатория окрасочно-сушильного отделения; 25 – вентиляционная камера и узел управления установкой автоматического пожаротушения в помещениях 23 и 24

Размещение поточно-конвейерных линий ремонта вагонов, тележек, колесных пар, буксовых узлов в главном производственном корпусе грузового вагонного депо и планировка производственных участков и отделений показаны на рисунках 2.4, 2.5.

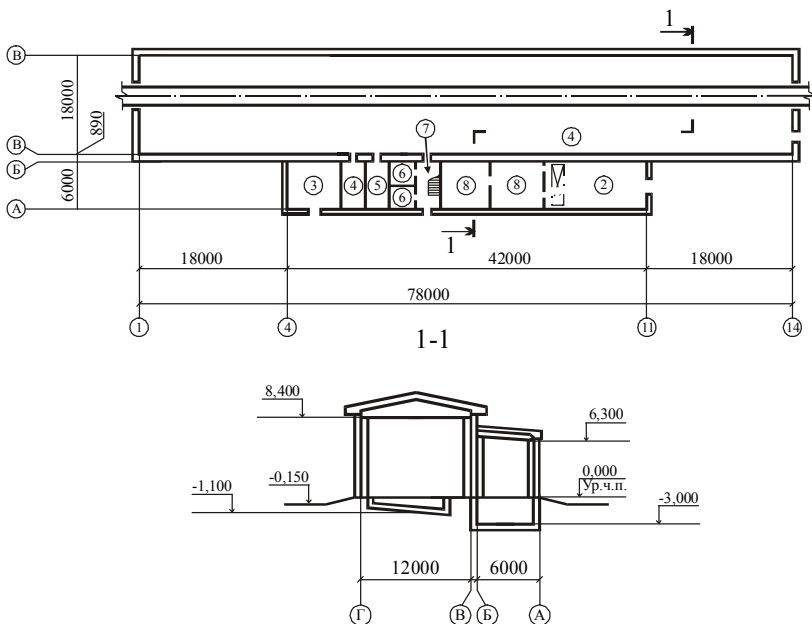


Рисунок 2.4 – Участок обмывки и очистки полувагонов:

1 – участок обмывки и очистки полувагонов; 2 – помещение накопления с последующей уборкой мусора; 3 – трансформаторная; 4 – тепловой пункт; 5 – электрощитовая; 6 – санузел; 7 – коридор; 8 – насосная

Площадь производственных участков и отделений рассчитывается в соответствии с нормами проектирования и исходя из опыта работы передовых вагоноремонтных предприятий. Взаимное расположение помещений производственных участков грузового вагонного депо должно обеспечивать выполнение принятых в проекте технологических процессов ремонта вагонов при наименьших затратах времени, рабочей силы и средств. Исходя из заданной программы ремонта проектируемого депо определяется рабочая программа производственных отделений ремонтно-комплектовочного участка и вспомогательных отделений, потребное количество основных производственных рабочих согласно установленным нормам и принятой методике.

Ремонт грузовых вагонов в условиях депо осуществляется с использованием разнообразных технологических процессов. Установившееся разделение конструкции вагона на основные узлы (кузов, рама, ходовые части, автосцепное и автотормозное оборудование) определяет совокупность технологических процессов, выполнение которых обеспечивает нормальное функционирование вагоноремонтного предприятия и выпуск продукции заданного количества при высоком качестве восстановления работоспособности вагонов.

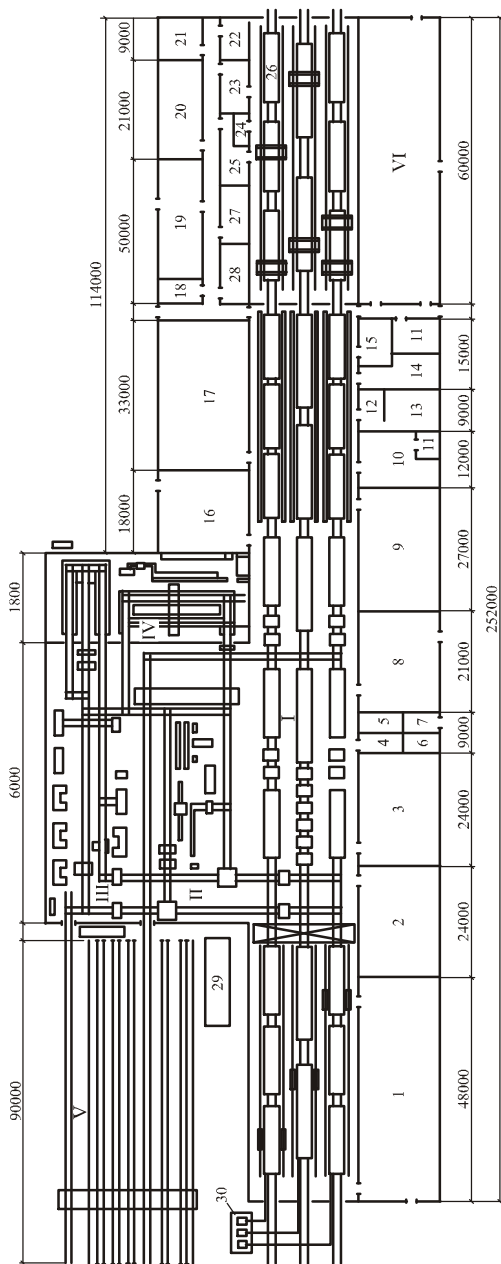


Рисунок 2.5 – Примерная технологическая схема вагонного депо для ремонта полувагонов поточно-конвейерным методом:

Производственные участки: I – вагонооборачивный; II – тележечный; III – колесный; IV – ремонта буксовых узлов с роликовыми подшипниками; V – парк колесных пар и тележек; VI – административно-бытовой корпус. *Отделения:* 1 – ремонта крышек локов торцевых полувагонов; 2 – ремонта автосцепного устройства; 3 – кузнечно-рессорное; 4 – кабинет мастеров; 5 – контрольно-диспетчерский пункт; 6 – электроцишговая; 7 – трансформаторная подстанция; 8 – кладовая запасных частей и материалов; 9 – механическая; 10 – сварочная; 11, 27 – вентиляционные камеры; 12 – раздаточное; 13 – инструментально-ремонтное; 14, 15 – туалетные комнаты; 16 – деревообрабатывающее; 17 – автотранспортное; 18 – кладовая запасных частей; 19 – ремонтно-ремонтное; 20 – электроотделение; 21 – аккумуляторная; 22 – кладовая текущего запаса лакокрасочных материалов; 23 – пункт мастера; 24 – ремонт оборудования; 25 – лакокрасочная лаборатория; 26 – малярное; 28 – комната отдыха; 29 – оцистные устройства; 30 – привозная станция конвейера

Технико-экономическими показателями сравнительной эффективности возможных вариантов применяемой технологии производства (при адекватности их по количеству и качеству выпускаемой продукции) являются точность, надежность, производительность и экономичность технологических процессов восстановления деталей и сборочных единиц ремонтируемых вагонов. *Точность технологического процесса* означает соответствие объекта изготовления или ремонта в целом заданным технологическим условиям, *надежность технологического процесса* – вероятность того, что при данном технологическом процессе получают годные по техническим условиям изделия или объекты ремонта. Количественно надежность технологического процесса оценивается отношением числа годных изделий к общему числу изготовленных. Надежность технологического процесса в целом определяется произведением показателей надежности по отдельным технологическим операциям изготовления или ремонта.

Экономическую целесообразность процесса ремонта можно оценить по критерию минимизации затрат на восстановление работоспособности вагонов

$$\sum_{i=1}^n N_i (\alpha_{pi} E_{pi} + \beta_{ni} E_{ni}) \rightarrow \min, \quad (2.13)$$

где N_i – годовая потребность в деталях вагонов i -го наименования; n – общее количество деталей, используемых при ремонте в депо (по типам вагонов); α , β – доля годовой потребности в деталях ($\alpha + \beta = 1$); E_{pi} – затраты на ремонт и эксплуатацию деталей i -го наименования; E_{ni} – затраты на изготовление (стоимость запасных частей) и эксплуатацию деталей i -го наименования.

Вариант технологического процесса ремонта целесообразно выбирать с учетом трудоемкости работ, производительности труда и себестоимости единицы выпуска продукции. Критериями технико-экономической оценки сборочных процессов являются:

– *средний коэффициент загрузки* η_{cp} как отношение расчетного количества исполнителей работ к принятому количеству согласно технологическому процессу сборки, $0,95 < \eta_{cp} < 0,98$ (при повышенных значениях η_{cp} не выполняются правила и технология ремонта вагонов, при заниженных – не загружены рабочие на сборке в силу организационных или технологических причин);

– *общая трудоемкость сборки (сумма штучного времени)*

$$\sum_{i=1}^n t_{шт_i} = t_{осн_i} + t_{веп_i} + t_{обсл_i} + t_{ф_i}; \quad (2.14)$$

– *затраты на выполнение сборочного процесса* (сумма зарплаты сборщиков, отчисления на амортизацию оборудования, накладные расходы).

При расчленении сборки на отдельные стадии затраты времени на технологические операции по позициям потока должны быть кратными или равными величине такта, трудоемкости не должны отличаться более чем на 20 %. При конвейерной сборке полное время процесса складывается из времени непосредственной сборки и времени передвижения объекта ремонта по позициям. Время сборки отдельных узлов (сборочных единиц) вагонов и время их подачи на поток должны обеспечивать ритмичную работу сборочного производства. Поточную подвижную сборку производят на транспортных устройствах (тележках, конвейерах и пр.), перемещение осуществляется тяговым устройством. Поточную неподвижную сборку выполняют на стационарных механизированных стендах в порядке последовательности сборочных операций. Перемещаются специализированные бригады, выполняющие только свои определенные технологические операции, в промежуток времени, соответствующий такту потока. Готовую продукцию (изготовления или ремонта) снимают со стендов поочередно в соответствии с тактом выпуска со сборочного участка. Число механизированных стендов, необходимых для стационарной разборки и сборки годового количества объектов ремонта,

$$N_{\text{сб}} = \frac{N_{\text{т}} t_{\text{сб}}}{F_{\text{сб}} a_{\text{см}}}, \quad (2.15)$$

где $N_{\text{т}}$ – программа ремонта; $t_{\text{сб}} = t_{\text{т}}$ – нормированное время на разборку, замену деталей, ремонт и сборку единицы продукции (затраты времени на одну ремонтируемую единицу в чел . ч); $F_{\text{сб}}$ – полезное время работы на стенде в одну смену; $a_{\text{см}}$ – число рабочих смен.

Технологический процесс сборки определяет: длительность сборки, количество исполнителей на отдельные операции и на всю сборку по трудоемкости работ, сроки комплексной подачи деталей, последовательность выполнения операций, технологичность сборки. Для сокращения сборочных работ необходимо: применять предварительную поузловую сборку, меньше подавать на сборку отдельных деталей; сокращать время ручного труда при выполнении технологических операций процесса (механизированный инструмент, приспособления); применять рациональные способы сборки и точно установленные на научной основе нормы времени на технологические операции. Технологичность сборки оценивается по *коэффициенту технологичности* сборочного состава изделия (объекта ремонта)

$$K_{\text{техн. сб}} = \frac{n_{\text{ст}} + n_{\text{з}} + n_{\text{пс}}}{\sum n}; \quad (2.16)$$

$$\sum n = (n_{\text{ст}} + n_3 + n_{\text{пс}}) + (n_{\text{сел}} + n_{\text{рег}} + n_{\text{под}} + n_{\text{комб}}),$$

где n_i – количество сборок: $n_{\text{ст}}$ – стандартизированных, n_3 – заимствованных, $n_{\text{пс}}$ – представляющих простое сопряжение деталей (например, установка шкворня тележки ЦНИИ-ХЗ), $\sum n$ – общее, $n_{\text{сел}}$ – селективных (детали сортируются по группам в пределах допуска, а затем из деталей соответствующей группы собираются узлы), $n_{\text{рег}}$ – выполняемых с регулировкой, $n_{\text{под}}$ – выполняемых с подбором деталей по установочному размеру, $n_{\text{комб}}$ – с комбинацией методов.

Проектирование технологических процессов базируется на использовании передового опыта и достижений науки и техники. Степень совершенства технологического процесса характеризуют:

- качество продукции, обеспечиваемое данным технологическим процессом изготовления или ремонта;
- уровень производительности труда, его механизации и автоматизации;
- условия труда при выполнении данного процесса, степень соответствия технологического процесса передовым формам организации производства;
- трудоемкость и цикл подготовки производства, связанные с освоением данного технологического процесса;
- себестоимость выпускаемой продукции.

Технологическая себестоимость – это часть себестоимости продукции, включающая расходы, которые могут существенно изменяться с изменением технологического процесса. В технологическую себестоимость включают расходы: на заготовки; зарплату производственных рабочих; эксплуатацию оборудования, приспособления, инструмент; на амортизацию. Основным направлением снижения себестоимости является повышение производительности труда (снижаются расходы на зарплату). Расходы на заготовки достигают в ряде случаев 25 % стоимости готового изделия. Снижения расходов на заготовки добиваются уменьшением массы материала. Необходимо уменьшать и остальные составляющие технологической себестоимости.

Условия достижения высокой производительности труда обеспечивают при проведении конкретных технологических мероприятий по *снижению отдельных составляющих штучного, а также подготовительно-заключительного времени*. Сокращения основного времени на выполнение технологических операций достигают изменением режима обработки резанием (скорость, подача, число проходов, врезание, пробег инструмента), применением многоинструментной обработки, изменением режимов сварочных процессов и пр. Основной путь снижения вспомогательного време-

ни – механизация и автоматизация вспомогательных работ (например, установка и закрепление заготовок, управление оборудованием, смена инструмента, измерение, параллельность выполнения нескольких операций и пр.). Для некоторых видов работ (например, заготовительно-штамповочные, сварочные и др.) нецелесообразно и затруднительно разделять основное и вспомогательное время, поэтому рассматривают оперативное время как сумму основного и вспомогательного.

При разработке технологического процесса необходимо: выбирать рациональную структуру процесса и прогрессивные методы восстановления деталей, обработки и сборки; применять наиболее производительное оборудование; обеспечивать полную загрузку оборудования и технологической оснастки по мощности и времени; наиболее рационально использовать квалификацию и время исполнителей. В ремонтном производстве объектом обработки являются восстанавливаемые детали. Разработка технологических процессов базируется на исходной информации. Все данные, содержащиеся в конструкторской документации, и планируемая программа выпуска представляют собой базовую информацию. В качестве справочной информации используются:

- данные, имеющиеся в действующих технологических процессах, признанных лучшими;
- описания прогрессивных методов обработки, каталоги, справочники средств технологического оснащения;
- научно обоснованные технологические нормативы (режимы обработки, припуски на обработку, нормы расхода материалов и пр.);
- планы повышения технического уровня производства.

Единичный технологический процесс ремонта выполняется на один тип вагона. Согласно технологической схеме ремонта вагона устанавливают перечень и краткое содержание операций, обеспечивающих выполнение необходимого объема ремонтных работ (первый этап). Для группы разнотипных вагонов на этом этапе разрабатывается типовой технологический процесс (для типового представителя этой группы), т. е. процесс на вагон, ремонт которого потребует наибольшего количества основных технологических операций, характерных для всех вагонов этой группы. На втором этапе проектирования выполняют: разработку подробного технологического процесса по всем операциям в технологической последовательности; сбор данных об оборудовании, технологической оснастке и трудовых нормативах; увязку их с формами организации производства (закрепление операций по позициям, средства технологического оснащения ремонтных позиций, виды транспортирующих устройств, величина трудовых затрат и пр.); технико-экономическое обоснование разработанного технологического процесса.

Проектирование технологических процессов в депо связано с изучением степени износа и повреждаемости деталей в эксплуатации; анализа техниче-

ских условий на их изготовление и ремонт, указаний на сборку; анализом частоты повторяемости, ремонтпригодности, способов восстановления. *Основные этапы проектирования технологических процессов*: изучение технических условий и чертежей; установление целесообразной последовательности выполнения операций, выбор рационального производственного оборудования и прогрессивной оснастки, расчет технологических режимов и нормирование.

Возможны различные варианты технологических процессов в ремонта в зависимости от конкретных условий производства и принятой ремонтной программы. Характер технологических процессов ремонта обуславливается технологичностью конструкций и их ремонтпригодностью. (Под *ремонтпригодностью* понимается приспособленность к обнаружению и устранению неисправностей, под *технологичностью* – степень приближения конструкции к требованиям изготовления и ремонта). Для оценки технологических процессов применяют *показатели*:

- точность техпроцесса – степень соответствия (приближения) характеристик деталей или сборочных единиц, полученных при изготовлении или сборке, заданным техническим условиям;

- надежность техпроцесса – способность технологического процесса обеспечивать выпуск продукции в полном соответствии с технической документацией (надежность всего техпроцесса равна произведению надежности операции);

- экономичность технологического процесса (оценивается себестоимостью изделия; при выборе варианта технологического процесса определяют лишь зависящую от него часть себестоимости и выбирают минимальный показатель);

- производительность технологического процесса (определяют количеством изделий, выпускаемых за единицу времени; повышение производительности достигают сокращением времени обработки за счет более рациональных технологических режимов, механизации вспомогательных операций и рациональной организации труда).

При проектировании следует предусматривать восстановление деталей различными способами, применять различные технологические процессы, использовать различное оборудование и режимы его работы, осуществлять различную организацию производства. Это обуславливает необходимость анализа возможных вариантов с целью выявления их относительных достоинств и выбора наиболее рационального. Комплексный анализ эффективности ремонта включает в себя техническую, организационную, социальную и экономическую целесообразность. *Техническая целесообразность* ремонта характеризуется возможностью восстановления в полном соответствии с техническими условиями, *организационная* – заданным количеством отремонтированных единиц (объектов ремонта) в установленные

сроки при существующей организационной структуре предприятия, уровнем качества. *Социальная целесообразность* рассматривается с точки зрения уровня автоматизации и механизации производства, роста квалификации работников, степени энерговооруженности и охраны труда. *Экономическая целесообразность* завершает комплексный анализ сравнительной эффективности вариантов технологических процессов. Сравнительная оценка производится по базовому варианту, в качестве которого принимается тот из внедренных ранее, который обеспечивает минимум затрат. При сравнении достигается тождество вариантов по объему, качеству и времени восстановления.

Уменьшение затрат за счет применения прогрессивных методов и организации ремонта является одним из путей повышения эффективности использования вагонов. Большое значение имеет и повышение технической готовности парка вагонов, сокращение времени ожидания и пребывания вагонов в ремонте.

2.2 Вагонсборочный участок

Вагонсборочный участок является основным в депо и служит для выполнения разборочных, ремонтных и сборочных работ. По своей структуре он может быть **сквозным** или **тупиковым**. В существующих вагонных депо площади сборочного участка зачастую используются для выполнения окрасочных работ, а для ремонта тележек выделяются площади с торца участка или одна из технологических ниток. При такой организации работ неэффективно используется производственная площадь и сдерживается рост мощности вагонного депо. При проектировании вагонного депо необходимо предусматривать сквозной вагонсборочный участок и участок ремонта тележек. При решении вопросов реконструкции существующих вагонных депо в первую очередь следует исключить ремонт тележек и окраску вагонов на производственной площади вагонсборочного участка. Депо для ремонта грузовых вагонов необходимо проектировать специализированными на деповском ремонте одного-двух типов вагонов. Программа ремонта по основным участкам и отделениям должна предусматривать снабжение запасными частями и деталями прикрепленных пунктов подготовки вагонов к перевозкам и пунктов технического обслуживания. Техническое оснащение вагонных депо должно обеспечивать ремонт современных видов подвижного состава с внедрением механизации и автоматизации технологического процесса, агрегатного метода ремонта с заменой отдельных изношенных узлов, деталей новыми или заранее отремонтированными.

Предварительный подбор ремонтируемых вагонов в переменной последовательности (с меньшей трудоемкостью, с большей трудоемкостью, с меньшей ... и т. д.) заключается в подборе пары следующих друг за другом вагонов ($A_1 + B_1$; $A_2 + B_2$; $A_3 + B_3$ и т. д.), не отличающихся существенно по

трудоемкости. Организация более стройной и чувствительной системы работы ремонтных бригад предусматривает переход рабочих с одной позиции на другую в зависимости от последовательности постановки вагонов на поточно-конвейерную линию. При этом должны обеспечиваться минимальные потери от перехода рабочих с позиции на позицию.

Необходимо учитывать, что при организации потоков в тупиковых вагонноборочных участках депо требуется предусматривать отдельно стоящий малярный участок (отделение) для окраски вагонов после ремонта.

Толщина стен зданий вагонного депо принимается в пределах от 160 до 300 мм. Ширина оконных проемов не должна превышать 4,5 м, а высота их до перемычки – не более 6 м в стенах высотой до 10 м и 7,2 м – в стенах высотой до 15 м. Высота кладки до низа окон может быть равной 1,2; 1,8 м при шаге колонн 6 м и 2,4 м – при шаге 12 м. Дверные проемы могут иметь ширину до 2 и высоту 2,4 м.

Ширина вагонноборочного участка рассчитывается с учетом того, что расстояние от продольной стены до оси крайнего пути составляет 5 м, а между осями соседних путей – 7–8 м. С учетом строительных требований для двухниточного депо целесообразно ширину участка устанавливать 18 м, а для трехниточного – 24 м.

На линии примыкания взаимно перпендикулярных пролетов ось торцевых колонн продольных пролетов смещается с поперечной разбивочной оси на 500 мм. Типоразмеры колонн представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Типоразмеры колонн

Высота от пола до низа строительных конструкций, м	Пролет здания, м	Размеры колонн, мм, $H \times a \times b$
<i>Шаг колонн 6 м</i>		
3,6	12	4500 × 400 × 400
4,2	12	5100 × 400 × 400
4,8	12; 18	5700 × 400 × 400
6,0	12; 18; 24	6950 × 400 × 400
7,2	18; 24	8100 × 400 × 400
8,4	18; 24	9300 × 500 × 500
9,6	18; 24	10950 × 500 × 500
<i>Шаг колонн 12 м</i>		
4,8	12; 18	5750 × 500 × 500
6,0	12; 18; 24	6900 × 500 × 500
7,2	18; 24	8100 × 500 × 500
8,4	18; 24	9300 × 500 × 500
9,6	18; 24	10500 × 500 × 500

В ремонтном производстве проектирование технологических процессов связано с тщательным изучением повреждений деталей вагонов в эксплуа-

тации, анализом технических условий на их восстановление и сборку, частоты повторяемости повреждений на вагонах, ремонтпригодности деталей и узлов, способов восстановления изношенных поверхностей.

Ремонт грузовых вагонов в депо организуют в соответствии с технологическим процессом, разработанным на основе «Типового технологического процесса деповского ремонта грузовых вагонов». *Автосцепное устройство* ремонтируют и устанавливают на вагон в соответствии с «Инструкцией по ремонту и содержанию автосцепного устройства подвижного состава железных дорог». *Рычажную тормозную передачу* разбирают независимо от ее состояния, все детали осматривают для выявления трещин и износов. *Тормозное оборудование* ремонтируют по «Правилам ремонта и испытания тормозного оборудования вагонов».

На вагоносборочном участке депо производятся следующие виды работ (на примере четырехосных цистерн):

- установка цистерн в ремонтных стойлах и подъемка;
- выкатка и подача тележек в тележечное отделение;
- демонтаж автосцепного устройства, тормозного оборудования и подача их на контрольный пункт автосцепки и в автоконтрольный пункт для дефектации и ремонта;
- демонтаж сливных приборов, предохранительных клапанов, аэролотков и подача в соответствующие отделения для дефектации и ремонта;
- ремонт пятниковых узлов;
- демонтаж и постановка крышек люков;
- ремонт котла, крепление лестницы, рамы;
- электросварочные и газосварочные работы;
- монтаж автосцепного устройства, тормозного оборудования, их контроль и проверка на вагоне;
- постановка сливных приборов, предохранительных клапанов, аэролотков;
- испытание котла цистерны;
- подкатка отремонтированных тележек и опускание цистерн;
- окончательная сборка тормозной рычажной передачи, опробование тормозов;
- малярные работы, нанесение знаков и надписей.

После установки вагонов в ремонтные стойла слесари вынимают клинья тяговых хомутов и готовят электродомкраты и ставлюги к подъемке вагонов. Слесарь при помощи мостового крана снимает головки автосцепок и вместе с клиньями, центрирующими балочками, маятниковыми подвесками, упорной плитой транспортирует в контрольный пункт автосцепки. Слесари по ремонту автотормозов перед подъемкой вагона отсоединяют поводки выпускных клапанов, тормозные тяги от вертикальных рычагов, рукава

вместе с концевыми кранами. После подъема вагонов слесари снимают для ремонта воздухораспределители, регулирующие устройства в рычажной передаче и авторежимы, разобщительные краны, выпускные клапаны. Тормозную магистраль, тормозные цилиндры, запасные и двухкамерные резервуары с вагонов, как правило, при деповском ремонте не снимают.

Слесари при помощи мостового крана в присутствии и по команде мастера или бригадира вагоноборочного цеха поднимают вагон на нужную высоту. При помощи электролебедки тележки выкатывают из-под вагонов в сторону тележечного отделения (участка).

Производится очистка хребтовой балки, рамы и сварных соединений от загрязнения, разрушившихся лакокрасочных покрытий, отслаивающейся ржавчины для контроля технического состояния, который производит бригадир цеха в процессе работы.

Балки рамы вагонов, имеющие трещины и изломы, а также хребтовые балки с протертостями и трещинами в местах останков поглощающих аппаратов ремонтируют в соответствии с Инструкцией по сварке и наплавке. Не допускается прогиб боковых, продольных и хребтовых балок в горизонтальной и вертикальной плоскостях более чем на 50 мм, для промежуточных шкворневых и концевых балок – не более чем на 20 мм, а также прогиб конца балки, при котором нарушено соединение ее с угловой стойкой. Балки рамы вагонов, имеющие прогибы более допустимых, выправляют.

Подножки и поручни, ранее установленные на сварке или заклепках, должны быть представлены на болтовые соединения с последующей приваркой гаек по периметру. Неисправленные болты заменяют, переклепывают ослабшие заклепки на вагонах.

Трещины в вертикальных местах поперечных балок рамы заваривают с последующей установкой с двух сторон усиливающих накладок толщиной 5 мм каждая.

Износ или перекося опорных поверхностей упоров хребтовой балки не более 3 мм допускается оставлять без исправления. Поверхности с большим износом восстанавливают наплавкой с последующей обработкой. Вместо наплавки разрешается приваривать планки соответствующих размеров при глубине износа более 5 мм. Металлические стойки и балки с изломами и трещинами исправляют постановкой накладок. Металлические балки, поврежденные коррозией более чем на 30 % поперечного сечения, подлежат замене.

Расстояние между передними и задними упорами должно быть в пределах 622–625 мм между боковыми гранями упорных поверхностей (в направлении между стенками хребтовой балки).

Не допускаются к эксплуатации вагоны с износом опорных поверхностей скользунов, расположенных на шкворневой балке, глубиной 4 мм.

Ударную розетку осматривают, опорные места для головок маятниковых подвесок проверяют в розетке шаблоном. Местные износы на корпусе розетки (от соприкосновения с центрирующей балочкой и корпусом автосцепки) глубиной до 5 мм разрешается оставлять без наплавки с плавным выводом на литую поверхность.

Изломы и трещины металлоконструкции необходимо усиливать накладками. В зависимости от требуемой степени усиления и формы элемента кузова, рамы накладки ставят с одной или обеих сторон шва. Толщина накладки должна быть в пределах $0,8-1,0\delta$, где δ – толщина основного металла, мм. Кромки одной из противоположных двухсторонних накладок должны перекрывать кромки другой накладки не менее чем на $1,5k$, где k – катет сварного шва, мм. Усиливающие накладки должны перекрывать трещины не менее чем на 50–100 мм. Расстояние между трещинами, устраненными путем заварки с последующим усилением каждой из них накладкой, должно составлять не менее 400 мм. При меньшем расстоянии усиление производят путем постановки одной общей накладки, перекрывающей соседние трещины.

Неисправные помосты, наружные и внутренние лестницы, узлы их крепления ремонтируют. При ремонте помоста части его с пробоинами и коррозией вырезают и приваривают новую часть «встык».

Крышки люков должны обеспечивать плотное прилегание к кольцу. Резиновые уплотнительные прокладки, имеющие трещины, надрывы или расслоения, потерю упругости, заменяют новыми. Шарнирные соединения крышек люков смазывают солидолом Ж по ГОСТ 1033–79.

Неисправные борта платформ ремонтируют. В закрытом положении бортов платформы не должно быть просветов между полом и бортами. Доски пола платформ, имеющие изломы и поперечные трещины, заменяют. При замене допускается постановка стычных досок в шахматном порядке. Постановка склеенных досок на платформах запрещена. Искривление продольного металлического борта в вертикальной и горизонтальной плоскостях не должно превышать 5 мм. Трещины, надрывы, пробоины и протертости в полотне металлических бортов устраняют электросваркой согласно действующим техническим условиям. Все детали металлических бортов осматривают, требующие ремонта – снимают (срезают), погнутые – правят.

При деповском ремонте полувагонов местный вертикальный прогиб верхней обвязки кузова между стойками не должен превышать 20 мм, прогиб по всей длине верхней обвязки – не более 50 мм. Суммарное уширение в верхней части боковых стен допускается не более 50 мм. Торцевые металлические двери полувагонов ремонтируют сваркой, для выполнения правильных работ и большого объема электросварки двери с полувагонов сни-

мают и ремонтируют в специализированном отделении ремонтно-комплектного участка депо.

Крышки разгрузочных люков, требующие сварочных работ или имеющие прогиб по всему полотну на величину 50 мм и более, для ремонта снимают с полувагонов. Местные зазоры между крышкой люка и плоскостью прилегания допускаются не более 7 мм.

Металлоконструкции вагонов в местах, подлежащих ремонту, а также металлический прокат, предназначенный для изготовления отдельных элементов этих металлоконструкций, имеющие искривления и деформации более допустимых технической документацией и стандартами, должны быть предварительно выправлены. Правку следует осуществлять на вальцах, прессах или устройствах, обеспечивающих плавность приложения нагрузок. Отдельные бухтины на листах толщиной до 3 мм разрешено править вручную на ровных чугунных плитах или столах из твердых пород дерева. Сварку сварных конструкций производят в соответствии с требованиями ОСТ 24.050.34. Холодную правку осуществляют при радиусах кривизны деформированных элементов металлоконструкции, превышающих минимально допустимые значения. При меньших значениях радиусов кривизны правку необходимо производить только в горячем состоянии. Допускается правка металла путем местного нагрева отдельных его участков. Температурный режим при горячей правке должен быть оговорен в технологическом процессе вагоноремонтного предприятия. Горячую и холодную правку производят по технологии вагоноремонтного предприятия, исключающей появление трещин, надрывов и пережогов металла.

При изготовлении новых сборочных единиц (элементов) металлоконструкций сборку под сварку предварительно подготовленных деталей необходимо производить в сборочно-сварочных кондукторах и приспособлениях. При постановке вставок и усиливающих накладок следует применять фиксаторы и различные приспособления. Технологическая оснастка должна обладать достаточной жесткостью, обеспечивать свободный доступ к местам сварки и удобство выполнения сварочных работ (максимально в нижнем положении), предотвращать деформации. Места постановки и размеры прихватки элементов должны быть оговорены в технологической документации на ремонтные работы.

Доски обшивки крытых вагонов при изломах, с трещинами, неплотно прилегающие друг к другу, без шпунтов и гребней заменяют. Исправные нестандартные по ширине доски обшивки разрешается оставлять. Допускается постановка клеенных досок встык на всех стенах, за исключением четырех верхних подряд. Стыки располагают в шахматном порядке. Во всех

случаях четыре нижние доски ставят целыми. Вновь поставленная обшивка должна быть собрана и плотно стянута. Допускается выход кромки обшивки у основания гребня и от кромки соседней обшивки не более 3 мм.

Все неисправности в обшивке потолка из фанеры толщиной 8 мм, древесноволокнистой (ДВП) и литой плит толщиной 6–8 мм (или 4 мм в два слоя), досок 16–22 мм (для вагонов с объемом кузова 106 м³), провисания, нарушения мест крепления листов и др. должны быть устранены. Вновь устанавливаемые части обшивки взамен неисправных должны быть толщиной не менее 8 мм. Поврежденные участки панелей обшивки потолка ремонтируют путем вырезания неисправной части и постановки ремонтной вставки соответствующей длины между исправными частями панели: на панели длиной до 1 м – не более одной; при длине панели более 1 м – не более двух, при вырезках на всем поперечном сечении кузова – не более трех. В остальных случаях неисправные листы обшивки заменяют новыми. Длина ремонтной вставки из древесноволокнистых плит или из фанеры толщиной 4–8 мм должна быть не менее 300 мм.

Обшивку потолка из досок по длине встык разрешено ставить только в двух местах с расположением стыков посередине дуги в шахматном порядке. Стыковать доски на первой от фрамуги дуге запрещено.

Ремонтные вставки и целые листы перед постановкой подгоняют и грунтуют с обеих сторон, целые листы и вставки крепят к деревянным брускам дуг крыши гвоздями 2 × 40 мм с шагом 150–180 мм, а в местах изгиба обшивки – с шагом не более 100 мм.

В местах повреждений перед производством ремонтных работ обшивку из фанеры с внутренней стороны кузова снимают. После окончания работ обшивку восстанавливают.

Поврежденные доски пола заменяют исправными, при этом толщина вновь поставленных досок, бывших в употреблении, должна быть не менее 48 мм, а ширина – не менее 120 мм. Настил пола должен быть собран плотно. Допускаются местные несквозные зазоры в соединении досок сверху и снизу не более 3 мм. Несквозные зазоры между досками неперебираемого настила пола допускаются не более 5 мм сверху и снизу. При больших зазорах настил пола перебирают.

Для смены неисправных досок пола необходимо снять пороги, отвернуть гайки болтов и снять сначала один, а потом другой продольные угольники, перекрывающие концы досок пола, подлежащие смене. Затем отвернуть гайки, выбить болты и снять скобы, прикрепляющие доску пола к хребтовой или продольной балке вагона. После этого вынуть неисправные доски пола и взамен вложить новые, уплотнив их приспособлением. Далее уложить на место продольные угольники и вставить болт со скобой в каждую доску в

шахматном порядке, прикрепляя к верхней полке хребтовой или продольной балки вагона. Допускается постановка досок встык в шахматном порядке через одну целую. Постановка в дверном проеме досок встык запрещена. Концы досок в месте стыка располагают на одной из полок швеллеров хребтовой балки и укрепляют болтами с планками.

Крышу очищают от разрушившегося лакокрасочного покрытия, отслоившейся ржавчины и других загрязнений, осматривают для выявления дефектов. Вагон, требующий замены или ремонта более 50 % листов крыши, направляют в капитальный ремонт для замены ее на новую. Неисправные крышки люков, помосты ремонтируют, устраняют неисправность в деталях печных разделок. На вагонах, не имеющих несъемного оборудования, печные разделки не восстанавливают, существующие – заделывают. Ремонту полимерными материалами (стеклотканью) подлежат цельносварные крыши, если:

- длина трещины – не более 500 мм и ширина – не более 2 мм, количество – не более трех, при условии, что расстояние между ними не менее 1 м;
- пробоины размерами 200 × 100 мм в количестве не более 4 на крыше и свесах при расстоянии между ними не менее 1 м;
- повреждение от коррозии – в виде сетовидности размером 500 × 500 мм в количестве двух на крыше при расстоянии между ними не менее одного метра.

Запрещается ремонтировать полимерными материалами трещины по сварным швам в местах соединения свесов с верхней обвязкой.

Ремонт цельнометаллических крыш грузовых вагонов (крытые, зерновозы, цементовозы, вагоны для перевозки минеральных удобрений и пр.) полимерными материалами производят при температуре окружающей среды не ниже 10 °С. На предварительно подготовленную к ремонту поверхность крыши наносят слой связующего и накрывают место дефекта пропитанной стеклотканью (тот же связующий материал). При необходимости окраски крыши, эту операцию производят, не ожидая отверждения стеклопластика. Качество ремонта контролируется внешним осмотром с проверкой отверждения состава эпоксидного связующего, для чего необходимо на него слегка нажать.

Доски обшивки двери, имеющие повреждения (изломы, поперечные трещины, гниль) заменяют. Внутреннюю обшивку дверей с пробоинами, изломами заменяют. При этом армировочные планки при постановке их на дверь не должны иметь местных вмятин и искривлений.

Характеристики эпоксидных связующих представлены в таблице 2.3.

Т а б л и ц а 2.3 – Характеристика эпоксидных связующих материалов, применяемых для ремонта

Наименование компонентов	Весовые части по массе	Жизнеспособность, мин	Температура отверждения, °С	Длительность отверждения, ч	Примечание
Смола эпоксидно-диановая марки ЭД-20					Связующее можно наносить на влажную поверхность
Эпоксидный компаунд марки К-153	100		10–20	2–2,5	
Отвердитель АФ52	30–40	20–30	Выше 20	1–1,5	

Местный зазор между дверной обвязкой и притворным уголком при закрытой дверной закидке допускается не более 6 мм. Размер перекрытия верхней части двери зонтом или направляющей планкой должен быть не менее 25 мм.

Механизм закрывания двери осматривают, неисправные детали ремонтируют или заменяют новыми. Изогнутые державки дверного ролика выправляют, дверной ролик проверяют на свободу вращения. Шариковые подшипники очищают, смазывают смазкой ЦИАТИМ-201, неисправные – заменяют новыми. Дверные упоры должны быть высотой 90–100 мм с захватом для предотвращения падения.

Дверные проемы выправляют и укрепляют. Дверные стойки, зонты, пороги выправляют, неисправные – заменяют. Толщина вновь установленного порога должна быть не менее 4 мм. Обвязки, имеющие изгибы, выправляют. Разность величин диагоналей и непараллельность боковых, нижней и верхней обвязок дверей допускается не более 7 мм. Обвязки двери, дверного проема с трещинами и изломами ремонтируют сваркой с постановкой усиливающих накладок соответствующего профиля. При деповском ремонте вагонов разрешается:

- заварка не более двух трещин в угольниках обвязки двери с усилением мест сварки угловыми накладками;
- заварка пробоин и прорезов с наложением накладок, вставок, но не более четырех на листе обшивки двери;
- приварка водоотливов взамен пораженных коррозией;
- заварка прорезов на листе обшивки двери, если ширина его не более 3 мм.

Доски и бруски несъемного оборудования с поперечными изломами и отколами выступов заменяют исправными. Вновь устанавливаемые настенные доски должны быть сечением 55 × 142 мм. При ширине кузова внутри от 2781 до 2800 мм разрешается установка прокладок под настенные доски с обеих сторон (толщиной 16 мм и шириной на 50 мм больше, чем у настенной доски). При ширине кузова более 2800 мм вагон ремонтируют с доведением ширины до чертежного размера (2759 + 15 мм).

Для цистерн, поступающих в ремонт, на подготовительной площадке выполняется дефектоскопия котлов для выявления дефектов. Метод ультра-

звукового просвечивания позволяет выявлять дефекты котла цистерны – сквозные дефекты в основном металле и сварных швах. Наиболее часто дефекты оболочки наблюдаются в сварных швах и нижней части котла. Контроль котлов цистерн следует производить после получения акта формы ВУ-19 о готовности цистерн к ремонту. В качестве средства контроля, реализующего метод ультразвукового просвечивания, используют ультразвуковой бесконтактный дефектоскоп ДУ-101Б, прошедший проверку. Входной контроль котла цистерн (оболочка и сливной прибор) можно проводить как до, так и после выкатки колесных пар из-под цистерны. Позиция, на которой проводят выходной контроль, определяется техпроцессом. Контроль должен выполнять работник, получивший специальную подготовку. Качество контроля котлов цистерн проверяют бригадиры, старшие мастера и приемщики вагонов. Выявленные дефекты устраняют в соответствии с требованиями Инструкции по сварке и наплавке при ремонте вагонов и контейнеров. Оставлять на котле неисправности, выявленные дефектоскопистом, запрещается.

Ремонт с полной разборкой и проверкой состояния сливных приборов, а также крышек и колец горловины люка производят при деповском ремонте цистерн в соответствии с требованиями Руководства по деповскому ремонту РД587 и Руководства по капитальному ремонту грузовых вагонов (утвержденные Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества, 18–19 мая 2011 г.). Отремонтированная цистерна должна пройти выходной контроль, при котором обследуют только отремонтированные места котла. Если при постановке цистерны в плановый ремонт дефекты не были обнаружены и котел не ремонтировали, повторное дефектоскопирование не производят. Результаты контроля котлов цистерн при периодическом ремонте следует учитывать в пронумерованном журнале общей формы. В журнал заносят: дату проведения контроля, номер вагона, место и характер найденного дефекта (если котел неисправен), подпись лица, проводившего контроль. При проведении контроля котлов цистерн дефектоскопом ДУ-101Б применяют: лупу семикратного увеличения по ГОСТ 25706–83; переносную лампу напряжением 36 В. В пунктах подготовки цистерн к наливу входной и выходной контроль после ремонта проводят так же, как и при деповском ремонте. Порядок контроля можно корректировать с учетом местных условий.

При контроле учитывают наиболее вероятное расположение неисправностей, особое внимание обращая на зоны под опорами, где визуальная проверка невозможна. Элементы котла обследуют в такой последовательности: заглушка сливного прибора при частично открытом клапане; сварные швы котла, ремонтные накладки, зоны опор котла; зоны колпака, клапан сливного прибора (при закрытом клапане и открытой заглушке).

Отсутствующие наружные и внутренние лестницы котлов устанавливают, неисправные – ремонтируют. Неисправные крепежные соединения лестниц заменяют новыми. Ступеньки лестниц внутри котла располагают параллельно продольной оси котла. Лестницы, установленные ранее поперек продольной оси котла, следует переставить. Отсутствующие помосты устанавливают в соответствии с чертежами данного типа вагона. Погнутые кронштейны помоста выправляют, имеющие трещины – заменяют.

Состояние опор котлов цистерн проверяют, сдвинутые котлы правильно устанавливают и надежно закрепляют. Ослабленные болты крепления котла к раме заменяют на новые. Стяжные хомуты, крепящие котлы к рамам, осматривают, неисправности устраняют. Хвостовики стяжных хомутов, имеющие разработанную резьбу, поврежденные и разработанные гайки, контргайки и муфты заменяют.

Погнутые стойки откидного шарнира, коромысла и упоры крышек выправляют, имеющие трещины – заменяют. У валиков откидного шарнира шайбы приваривают. Поврежденные откидные болты, шайбы, шпильки и приспособления для пломбирования заменяют.

Цистерны с паробогривательной рубашкой для перевозки вязких нефтепродуктов ремонтируют в следующем порядке. Листы кожуха, имеющие повреждения, ремонтируют вырезкой поврежденных мест и приваркой накладок по всему периметру. Трещины в углах кожуха котла заваривают с предварительной разделкой. На листах кожуха допускаются вмятины глубиной не более 30 мм. Броне листы цистерн осматривают. Отдельные продольные и поперечные трещины длиной не более 200 мм в нижней части броневого листа, переходящие на седло клапана сливного прибора, подготавливают под сварку и заваривают. С внутренней стороны на броне листе ставят усиливающую выштампованную накладку толщиной 10 мм с приваркой по периметру. Цистерны, имеющие продольные и поперечные трещины в нижней части броневого листа по месту выштамповки для полного слива нефтепродуктов длиной более 200 мм, переходящие на седло клапана сливного прибора, направляют на вагоноремонтный завод для замены дефектной части броневого листа. Зазор между хребтовой и шкворневой балками рамы и кожухом котла должен быть не менее 5 мм.

Котлы цистерн при испытании воздухом на плотность должны 10 мин находиться под давлением 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) с открытой нижней крышкой сливного прибора и 5 мин – с частично открытым клапаном и закрытой нижней крышкой сливного прибора. Плотность всех сварных швов и мест, где может образоваться течь, проверяют обмыливанием. Падение давления по манометру не допускается. Паробогривательную рубашку котла испытывают на плотность воздухом под давлением 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) с обмыливанием сварных швов. Плотность паробогривательной рубашки мож-

но проверять водой или паром с давлением 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) в течение 15 мин. Не должно быть утечек воздуха, пара, воды.

Цистерны для перевозки цемента перед ремонтом подвергают контролю. Проверяют техническое состояние котла, внутреннего и наружного оборудования. Детали внутрикотлового оборудования, крышки лазового и загрузочного люков, патрубки, детали воздушной коммуникации, разгрузочного устройства, арматурный ящик очищают от грязи и цемента. Шарниры деталей крепления запорных механизмов, деталей и узлов специализированного оборудования цистерн проверяют как внутри, так и снаружи котла, неисправные – ремонтируют. В диафрагмах, листах откосов и рассекателей трещины суммарной длиной не свыше 100 мм в рассматриваемом сечении заваривают, при большей длине трещины заваривают с постановкой накладок. Пробоины в местах откосов и рассекателей ремонтируют постановкой накладок. Накладка должна перекрывать кромки пробоины не менее чем на 50 мм. Трещины на крышках смотровых окон подоткосного пространства заваривают. Неисправную прокладку крышки смотрового окна заменяют новой. Ее ставят на сурик свинцовый с последующим плотным креплением крышки болтами. Штуцеры для удаления конденсата с неисправной резьбой срезают и вместо них приваривают новые. Неисправные пробки заменяют. Трещины, надрывы в горловине люка ремонтируют сваркой. Изломанные с трещинами кронштейны и уголки распорки заменяют, погнутые – выправляют. Все детали запоров люков проверяют и приводят в полную исправность. Погнутые откидные болты, рычаги, рукоятки, стойки, упоры крышек выправляют, с трещинами – заменяют, а с выработками более 3 мм – восстанавливают наплавкой с последующей механической обработкой до размеров, указанных в рабочих чертежах. Коллектор осматривают, очищают от возможного скопления влаги, масла, грязи и при необходимости демонтируют для ремонта и проверки. Штуцеры с неисправной резьбой заменяют. Погнутые полухомут кронштейна, скобу на коллекторе выправляют, а изломанные или с трещинами – заменяют. Откидную крышку арматурного ящика и ее детали осматривают, неисправные детали ремонтируют или заменяют новыми. Уплотнительную резиновую прокладку в месте крепления крышки к арматурному ящику с наличием трещин, надрывов или расслоений заменяют. Склейка прокладки допускается не более чем из двух частей встык, скрепленных клеем 88Н.

Трещины, выпучины на трубах воздушной коммуникации не допускаются. Дефектную часть вырезают, и приваривают встык новую часть трубы. Все резьбовые соединения воздушной коммуникации должны плотно свертываться и уплотняться обмоткой из пеньки, смоченной свинцовым суриком или белилами. Тройники, гайки и контргайки должны иметь исправную резьбу фаски для уплотнения подмоткой. При ремонте пробковых кранов

пробки должны быть притерты к их гнездам в корпусах кранов. Квадраты головок пробок не должны иметь забоин. Забоины и риски на пробках кранов устраняют механической обработкой на станках.

Предохранительный клапан снимают с котла и направляют в отделение по ремонту. Детали разгрузочного устройства снимают с вагона, разбирают, очищают от следов цемента и загрязнений. Валик штанги с забитой или сорванной резьбой заменяют. Допускается после удаления неисправной резьбы наплавлять и нарезать новую резьбу на валике штанги по размерам, указанным на чертеже. Погнутые диски заслонки выправляют. Диски должны плотно, без зазора прилегать к резиновому кольцу. Ослабшие заклепки удаляют и взамен ставят новые. Конец заклепки расклепывают заподлицо с поверхностью диска. Разработанные отверстия в дисках восстанавливают наплавкой с последующей механической обработкой до чертежных размеров. Отверстия в запорной рукоятке и скобах, разработанные свыше 3 мм, заваривают с последующей рассверловкой отверстий до размеров, указанных в рабочих чертежах.

После окончания сборки котла цистерн цементовозов испытывают все воздушные коммуникации и разгрузочные устройства давлением воздуха не менее 0,2 МПа (2 кгс/см²). Пропуск воздуха не допускается. Котлы цистерн с установленной арматурой и воздушной коммуникацией испытывают на плотность воздухом давлением 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) в течение 10 мин. При наличии падения давления по манометру места утечки выявляют обмыливанием. Утечку воздуха устраняют при отсутствии давления в котле, и повторно проводят испытания котла. Падение давления по манометру не допускается. Результаты испытаний котлов цистерн заносятся в специальный журнал. Отремонтированные вагоны сдают приемщику вагонов. На каждый отремонтированный вагон мастер составляет уведомление формы ВУ-36 в трех экземплярах, которые подписывают начальник депо (или его заместитель) и приемщик вагонов. Один экземпляр уведомления вручают маневровому диспетчеру, другой – передают в бухгалтерию вагонного депо, третий – оператору по учету вагонов. Начальник вагонного депо, его заместитель, мастера и приемщик вагонов несут гарантийную ответственность за качественный ремонт узлов и деталей, исправную работу вагона до следующего планового ремонта, считая от даты выписки ВУ-36.

Цистерны для перевозки кислот, имеющие паробоггревательную рубашку, ремонтируют, как и цистерны с паробоггревательной рубашкой для перевозки нефтепродуктов. Неисправные сливные приборы и наливные устройства, запорную арматуру, крышки люков большого и малого колпаков ремонтируют. Неисправные крепежные изделия крышек люков заменяют. Кислотостойчивые прокладки, имеющие повреждения, заменяют новыми. Предохранительные щиты, служащие для защиты узлов цистерн от случайно про-

литой кислоты, при повреждениях, коррозионном износе более 30 % поперечного сечения ремонтируют; защитные покрытия восстанавливают.

У восьмиосных вагонов выкатывают тележки на позицию съема соединительных балок. После демонтажа соединительную балку первой четырехосной тележки подают кран-балкой на позицию ремонта и устанавливают на кантователь. Откатив первую двухосную тележку, выкатывают вторую, и операции по съему и транспортировке соединительной балки повторяют. Котел цистерны осматривают, проверяют техническое состояние узлов в зонах: стыкования обечаек и днища, шпангоутов; приварки горловин люков, броневых листов и сливных приборов; приварки кронштейнов для тормозного оборудования, лестниц и помостов, опорных листов, крепления котла к концевым полурамам, центрального пятника и его крепления; крепления тормозного оборудования и автосцепного устройства, опор котла на шкворневых, хребтовых балках (боковые и торцевые листы, ребра и косынки). Особое внимание при контроле технического состояния обращают на выявление трещин, отрывов, других дефектов в сварных швах крепления: шпангоутов, опорных листов к котлу цистерны, вертикальных ребер косынок со стороны шкворневой балки с вертикальной стенкой хребтовой балки, торцевого, боковых листов шкворневых и хребтовой балок, крайних опорных лап, связующих консоли хребтовой балки с котлом. Местные вмятины и выпучины на стенках котла более 25 мм на метр длины выправляют с предварительным местным подогревом.

Сварные швы крепления шпангоутов к котлу и опорному листу в местах соединения частей шпангоутов должны быть непрерывными. Шпангоуты и места их стыкования, имеющие трещины, ремонтируют сваркой с последующей зачисткой швов и постановкой усиливающих накладок толщиной 8–10 мм соответствующего профиля. Шпангоуты, имеющие отрывы от котла и опорного листа, приваривают непрерывным сварным швом. Обечайки котла с трещинами в зоне шпангоутов ремонтируют сваркой. При этом вырезают часть шпангоута (необходимой длины), новую часть шпангоута ставят встык с подгонкой по месту. Заварку трещин обечайки котла и приварку части шпангоута к котлу производят непрерывным сварным швом. Место стыков шпангоутов перекрывают усиливающими профильными накладками. Трещины в котле длиной до 500 мм заваривают с последующей установкой с наружной стороны котла усиливающих накладок толщиной не более 10 мм, с приваркой по периметру. Допускается перекрытие трещин одной накладкой, при этом площадь накладки не должна превышать 0,5 м². Котел, имеющий пробоины, ремонтируют постановкой накладок толщиной не менее толщины основного металла в месте их постановки. На одном днище котла допускается не более шести усиливающих накладок, на обечайке котла – не более восьми с общей площадью накладок на одном эле-

менте (днище или обечайки) – не более 0,5 м². При наличии дефектов выше допускаемых размеров цистерны направляют на капитальный ремонт.

Соединительную балку очищают от нефтепродуктов. Мастер или бригадир производят визуальный контроль с целью выявления дефектов в виде трещин, разрушения элементов, износов. Дефектные места соединительной балки обводятся мелом. Износ рабочих упорных и опорных плоскостей пятников на глубину более 3 мм от предельного размера подлежит восстановлению наплавкой с последующей механической обработкой. Концы трещин перед разделкой должны засверливаться. Трещины с глубиной залегания до 5 мм разделяют на глубину не менее 6 мм с тем, чтобы в процессе заварки накладывался многослойный сварной шов (не менее чем в два слоя). Глубина разделки сквозных трещин должна быть на 1–3 мм меньше толщины основного металла в месте разделки.

Приварку нового кронштейна для крепления торсиона или его частей производят полуавтоматической сваркой в углекислом газе сплошной электродной проволокой диаметром 1,4 мм. При износе концевого скользуна более 5 мм ремонт производят путем срезки изношенного и постановки нового скользуна. При этом должен быть заменен скользян и на противоположной стороне этого же края соединительной балки. Приварку концевого скользуна и вварку втулки в отверстие подпятника производят ручной дуговой сваркой в нижнем положении электродами типа Э50А диаметром 5–6 мм или полуавтоматической дуговой сваркой в углекислом газе сплошной электродной проволокой диаметром 1,2–1,4 мм. Текущий контроль производят исполнитель работ и бригадир внешним осмотром и замером контролируемых размеров мерительным инструментом и шаблонами. Заключительный контроль осуществляет приемщик вагонов и включает контроль параметров соединительной балки. На принятую из ремонта балку наносят клеймо депо. Клеймо ставят на верхнем поясе со стороны кронштейна для крепления торсиона между технологическим отверстием и пятником. Клеймо деповского ремонта, поставленное ранее, снимают. Запрещается снимать клеймо капитального (заводского) ремонта.

Следует отметить, что основным недостатком существующей сегодня системы организации ремонта является то, что практически не производится предремонтное диагностирование, особенно по кузовам и рамам вагонов. К чему это приводит? При визуальном осмотре работник депо не в состоянии оценить остаточную несущую способность основных элементов рамы и кузова. Более того, возможны случаи, когда потеря несущей способности какого-то элемента достигла критической величины. Применение диагностических средств неразрушающего контроля перед постановкой вагонов в вагоносборочный участок устраняет такие ситуации.

Лабораторией «Технические и технологические оценки ресурса единиц подвижного состава (ТТОРЕПС)» БелГУТа разработаны диагностические карты по каждому типу вагонов. После выполнения диагностики и заполне-

ния диагностических карт следует провести проверочные прочностные расчеты. Такая методика, основанная на применении метода конечных элементов показала высокую эффективность.

При проектировании вагонного депо **длина ВСУ** рассчитывается по формуле

$$L_{\text{ц}} = L_1 + K_{\text{в}} L_{\text{под}} + L_{\text{тр}} + (C-1)K_{\text{в}} t_{\text{в}} + (C-1)t_{\text{и}} + L_2,$$

где $L_{\text{ц}}$ – длина вагоносборочного участка без малярного отделения; L_1, L_2 – расстояния от крайних вагонов до одной и другой торцевых стен (принимают равными 3–4 м); $K_{\text{в}}$ – количество вагонов, одновременно находящихся на позиции; $L_{\text{под}}$ – длина позиции подъема кузова и выкатки тележек; $L_{\text{тр}}$ – ширина транспортного проезда внутри участка (принимается 6 м); C – количество позиций на технологической нитке ремонта вагонов; $t_{\text{в}}$ – расчетная длина вагона, м; $t_{\text{и}}$ – длина интервала между соседними вагонами (принимается равной 1,5–2,0 м).

Расстояние от продольной стены ВСУ (от внутренней грани) до продольной оси крайнего пути – 5 м; расстояние между осями двух смежных путей принимается не менее: для трехпутных вагоносборочных участков новых депо – 7 м, реконструируемых – 6–7 м, приспособляемых – 6 м [7].

Для перемещения вагонов по позициям ПКЛ ВСУ применяются напольные конвейеры периодического (пульсирующего) типа с челночным перемещением транспортирующих устройств. При пульсирующем действии конвейера ВСУ **такт поточной линии** $\tau_{\text{л}}$ включает время $t_{\text{н}}$, в течение которого конвейерная линия (ПКЛ) неподвижна (на вагонах ведутся работы), и время перемещения $t_{\text{пер}}$ вагонов с одной позиции на другую, мин:

$$\tau_{\text{л}} = t_{\text{н}} + t_{\text{пер}}.$$

Скорость перемещения конвейера

$$v_{\text{к}} = \frac{L}{\tau_{\text{л}} - t_{\text{н}}} = \frac{L}{t_{\text{пер}}},$$

где L – расстояние между осями двух ремонтируемых вагонов (шаг конвейера), определяемое длиной вагона $L_{\text{в}}$ и межвагонным технологическим разрывом $L = L_{\text{в}} + (1...2)$.

Рабочая длина конвейера

$$L_{\text{к}} = cL,$$

где c – количество позиций поточной линии.

Общую длину конвейера для ВСУ депо $L_{\text{к}}^{\text{общ}}$ принимают с учетом ввода вагона на ПКЛ и вывода его с ВСУ после ремонта и рассчитывают по формуле

$$L_{\text{к}}^{\text{общ}} = 2(L_{\text{в}} + L) + L_{\text{к}}.$$

Потребное тяговое усилие конвейера

$$P_{\text{к}} = K_{\text{т}} T_{\text{в}} n_{\text{в}},$$

где $K_{\text{т}} = 250 \dots 350 \text{ Н}$ ($25 \dots 35 \text{ кгс}$) – тяговое усилие на каждую тонну тары вагона; $T_{\text{в}}$ – тара вагона, т; $n_{\text{в}}$ – максимальное количество одновременно перемещаемых вагонов на конвейере.

Все работы, связанные с окраской вагонов, следует производить в малярных отделениях (допускается окраска на позициях вагоносборочного участка, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией и противопожарными устройствами, или на открытом воздухе при температуре не ниже $+5 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Согласно правилам деповского ремонта грузовых вагонов производственные процессы окраски вагонов и их частей следует производить с соблюдением «Правил техники безопасности и производственной санитарии для окрасочных цехов и участков предприятий железнодорожного транспорта», а также «Правил и норм по технике безопасности, пожарной безопасности и промышленной санитарии» для окрасочных участков. Металлические части рамы и кузова в местах, пораженных коррозией и с поврежденной окраской, очищают до металла и окрашивают за один раз под цвет старой краски. Деревянные поверхности кузова в местах повреждения краски окрашивают за один раз под цвет старой краски. Крышу вагона полностью окрашивают за один раз. Перед постановкой на вагон доски пола и обшивку грунтуют. Вновь поставленные деревянные и металлические детали окрашивают за один раз под цвет старой краски. Не допускается окраска сырой или влажной поверхности кузова вагона снаружи.

Процесс полной окраски состоит из следующих основных операций:

- 1) подготовка поверхностей для окраски;
- 2) грунтование;
- 3) местная подмазка, шпатлевание местами или по всей поверхности, порозаполнение;
- 4) окраска подготовленной поверхности.

Объем работ, производимых при подготовке поверхности к окраске и при самой окраске, устанавливают в соответствии с технологической инструкцией № 242 ПКБ ЦВ «Окраска вагонов в депо». Типы лакокрасочных материалов, применяемых для окраски кузовов, рам и ходовых частей вагонов, приведены в технологической инструкции. Окраску вагонов следует производить в соответствии с «Инструкцией по окраске грузовых вагонов» 655-2000 ПКБ ЦВ ВНИИЖТ, а также указаниями, приведенными в «Альбоме эталонов цветов масляных красок и лаков, применяемых при окрашивании грузовых вагонов».

При проектировании малярных отделений необходимо учитывать характеристику производства при окраске и степень огнестойкости зданий и сооружений. При отнесении того или иного производства к категории пожаро- и взрывоопасности определяющим фактором является физико-химическая характеристика применяемых материалов. В условиях правильного технологического режима и соблюдения правил технической эксплуатации возможность возникновения взрывов и пожаров должна быть исключена. Созданию условий, исключающих взрывы и пожары, в значительной мере способствует точное определение категории пожаро- и взрывоопасности технологического процесса окраски вагонов. Различают производства взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности (таблица 2.4).

Т а б л и ц а 2.4 – Характеристика и категория производства

Характеристика производства	Категория производства	Характеристика обращающихся в производствах веществ
Взрывопожароопасное	А	Горючие газы, нижний предел взрываемости которых 10 % и менее к объему воздуха
	Б	Горючие газы, нижний предел взрываемости которых более 10 % к объему воздуха; жидкости с температурой вспышки паров от 28 до 61 °С, нагретые в условиях производства до температуры вспышки и выше
Пожароопасное	В	Жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С, горючие пыль или волокна, нижний предел взрываемости которых более 65 г/м ³ к объему воздуха; вещества, способные гореть только при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом; твердые сгораемые вещества и материалы
	Г	Несгораемые вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени
	Д	Несгораемые вещества и материалы в холодном состоянии
Взрывоопасное	Е	Горючие газы без жидкой фазы и взрывоопасной пыли в таком количестве, что они могут образовать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5 % объема помещения, в котором по условиям производства возможен только взрыв

Малярное отделение относится к пожароопасному производству категории В. При проектировании целесообразно предусматривать размещение малярного отделения в одном блоке здания с вагонсборочным участком. Согласно СНиП, для отделения помещений с производством категории В от других помещений необходимо сооружать огнестойкую перегородку с пределами огнестойкости не менее 0,75 ч. В условиях вагонного де-

по указанное требование выполняется при сооружении разделительной стены из силикатного, глиняного или дырчатого кирпичей. Предел огнестойкости такой стены составляет 0,75–1,1 ч. Проемы для перемещения вагонов из сборочного участка в малярный должны закрываться металлическими шторными воротами. В том случае, если вагон окрашивается за время перемещения его из ВСУ в малярный, между ними устраивают тамбур-шлюзы шириной не менее 6 м. Ширина противопожарного шлюза определяется минимальным строительным шагом колонн.

Покрытие узлов и деталей вагонов лакокрасочными материалами можно осуществлять распылением, окунанием, обливанием, вальцами, поролоновым валиком, кистью, электроосаживанием. Окраску кузовов и рам вагонов в малярном участке в большинстве случаев производят распылением. Лакокрасочный материал можно наносить воздушным и безвоздушным распылением, распылением в электростатическом поле.

При *воздушном распылении* лакокрасочный материал с помощью сжатого воздуха приводится в пылевидное состояние. К преимуществам данного способа следует отнести возможность механизации процесса окраски, а также увеличение производительности труда по сравнению с ручной окраской кистями, к недостаткам – большое туманообразование лакокрасочного материала. В связи с этим воздушное распыление целесообразно применять для окраски изделий только в закрытой камере. Разновидностью воздушного распыления является окраска с использованием подогретых лакокрасочных материалов, распыляемых при помощи сжатого воздуха. В этом случае значительно уменьшается расход растворителей красок.

Для *безвоздушного распыления* целесообразно использовать установки типа «Радуга». Безвоздушное распыление осуществляется в результате подачи подогретой или неподогретой краски к распылителю под большим давлением. При этом способе окраски туманообразование значительно меньше, чем при воздушном распылении, туманообразование. Степень использования лакокрасочных материалов составляет 80–85 %.

Для окраски *в электростатическом поле* между окрашиваемой поверхностью и распылителем создается электрическое поле высокого напряжения с отрицательным потенциалом на распылителе и положительным – на заземленном вагоне. Преимущество этого метода заключается в высокой степени использования лакокрасочных материалов (95–98 %) и обеспечении высокого качества покрытия; недостатки – невозможность окраски внутренних поверхностей и некачественная окраска изделий сложной конфигурации. При выборе метода окраски деталей вагонов необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

– методом безвоздушного распыления окрашивают ходовые части вагонов в собранном состоянии, котлы цистерн, кузова грузовых вагонов;

- воздушное распыление можно использовать для окраски вагонов в собранном виде и отдельных их частей лишь в камере, исключаяющей нахождение рабочих в зоне окраски;
- детали сложной конфигурации (автосцепка) окрашивают путем окунания;
- колесные пары, подвагонное оборудование и тележки, демонтированные с вагонов, окрашивают методом облива;
- окраску кузова вагонов в собранном виде производят в электростатическом поле.

Процесс сушки окрашенной поверхности является одной из важнейших операций окраски вагонов. В получении стойкого и прочного покрытия решающее значение приобретает длительность и температура сушки. Для создания условий, обеспечивающих воздействие повышенной температуры на окрашенные изделия при интенсивном движении воздуха, сушку необходимо производить с применением сушильных устройств. Устройства для сушки подразделяют на три класса: *конвекционные* с обогреванием окрашенной поверхности горячим воздухом; *терморadiaционные* (отражательные) с использованием тепловой радиации; с нагреванием *индукционными токами*. Наибольшее распространение получил конвекционный способ сушки вагонов.

Большинство лакокрасочных материалов содержат быстро улетучивающиеся растворители, а в некоторых случаях и свинцовые соединения. Поэтому к организации работ на малярном участке (отделении) предъявляются особые требования. Все работники малярного участка должны быть обеспечены спецодеждой. При работе в закрытых емкостях рабочие должны пользоваться масками с подачей чистого воздуха. При окраске вагонов на открытом воздухе для защиты органов дыхания маляров следует применять маски с принудительной подачей свежего воздуха, очищенного в специальных фильтрах. В сборочном цехе окраска распылением может допускаться в нерабочую смену при наличии эффективной приточно-вытяжной вентиляции и индивидуальных защитных приспособлений. Запрещается применять для окраски распылением лакокрасочные материалы, содержащие в качестве пигмента свинцовые соединения.

Отопление малярных участков (отделений), как правило, должно быть воздушным с приточной вентиляцией. В качестве отопительных приборов нужно применять гладкие радиаторы или трубы. В зимнее время в малярных участках должна быть обеспечена температура воздуха в рабочей зоне $+16 \dots 20^\circ\text{C}$.

На малярном участке запрещено производить сварочные работы, пользоваться открытым пламенем и паяльными лампами. Электрические выключатели должны быть неискрящегося типа, а электрическое оборудование – взрывобезопасного исполнения. Для окраски в электростатическом поле необходимо применить материалы (лакокрасочные), имеющие удельное объемное электросопротивление от $10 \cdot 10^6$ до $5 \cdot 10^7$ Ом.

Характеристика основных участков и отделений грузового вагонного депо приведена в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Характеристика основных участков и отделений грузового вагонного депо*

Программа ремонта	Измеритель	Размеры депо	Участки				Отделения						
			сборочный	малярный	отделочный	колесотележный	контрольный пункт автосцепки	автомоторное	кузнечно-рессорное	крышек люков	ремонта дверей крытых вагонов	механическое	деревяно-обработанные
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2832	Размер Площадь Объем	2(66×18+ +66×12)	66×18 1188 16038	–	–	66×18 1188 16038	–	12×18 216 1102	12×12 144 72	12×12 144 72	12×6 72	12×12 144 72	12×18 216 1102
3776	Размер Площадь Объем	2(96×18+ +96×12)	72×18 1296 17496	24×18 432 5832	30×18 540 7290	66×18 1188 16038	–	12×18 216 1102	12×12 144 72	12×12 144 72	12×6 72	12×12 144 72	12×18 216 1102
4720	Размер Площадь Объем	2(114×18+ +114×12)	72×18 1296 17496	42×18 756 10206	48×18 864 11664	66×18 1188 16038	12×24 288 1469	12×24 288 1469	12×18 216 1102	12×12 144 72	12×12 144 72	12×12 144 72	12×24 288 1469
5667	Размер Площадь Объем	2(132×18+ +132×12)	90×18 1620 21870	42×18 756 10206	48×18 864 11664	84×18 1512 20412	12×24 288 1469	12×24 288 1469	12×18 216 1102	12×18 216 1102	12×12 144 72	12×12 144 72	12×24 288 1469
6608	Размер Площадь Объем	2(150×18+ +150×12)	108×18 1944 26244	48×18 756 10206	48×18 864 11664	102×18 1836 24786	12×24 288 1469	12×24 288 1469	12×18 216 1102	12×18 216 1102	12×12 144 72	12×12 144 72	12×30 369 1836
7552 7080	Размер Площадь Объем	3×96×18+ +96×12+96× ×18 2(114×24+ +114×12)	90×24 73×36 2160 2592 29160 34992	24×24 24×18 576 432 7776 5832	30×24 – 720 – 9720 –	84×24 96×18 2016 1728 27216 23328	12×24 288 1469	12×24 288 1469	12×18 216 1102	12×18 216 1102	12×18 216 1102	12×18 216 1102	12×30 360 1836

* Программа ремонта – в шт., размер – в м, площадь – в м², объем – в м³.

Окончание таблицы 2.5

Программа ремонта	Измеритель	Размеры депо	Отделения										
			сварочное	инструментальное	ремонта бортов	ремонта сливных приборов	кладовая	электрокар	краскозаготовительное	компрессорное	ремонта оборудования	роликотгнители	
1	2	3	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
2832	Размер	2(66×18+	12×6	12×12	12×6	12×6	12×12	12×12	6×12	6×6	12×6	12×18	6×6
	Площадь	+66×12)	72	144	72	144	144	144	72	36	72	216	36
	Объем		367	734	367	734	734	734	367	184	367	1102	184
3776	Размер	2(96×18+	12×6	12×6	12×12	12×6	12×12	12×12	6×12	6×6	12×6	12×18	6×6
	Площадь	+96×12)	72	144	72	144	144	144	72	36	72	216	36
	Объем		367	734	367	734	734	734	367	184	367	1102	184
4720	Размер	2(114×18+	12×6	12×6	12×18	12×6	12×12	12×12	6×12	12×6	12×12	12×24	6×6
	Площадь	+114×12)	72	72	216	72	144	144	72	72	144	288	36
	Объем		367	367	1102	367	734	734	367	184	734	1469	184
5667	Размер	2(132×18+	12×6	12×6	12×18	12×6	12×12	12×12	12×12	12×6	12×12	12×24	6×6
	Площадь	+132×12)	72	72	216	72	144	144	144	72	144	288	36
	Объем		367	367	1102	367	734	734	734	367	734	1469	184
6608	Размер	2(150×18+	12×6	12×6	12×24	12×6	12×18	12×12	12×12	12×6	12×12	12×36	6×6
	Площадь	+150×12)	72	72	288	72	216	144	144	72	144	432	36
	Объем		367	367	1469	367	1102	734	734	367	734	2203	184
7552	Размер	3×96×18+	12×6	12×6	12×24	12×6	12×18	12×12	12×12	12×6	12×12	12×36	12×6
	Площадь	+96×12+9	72	72	288	72	216	144	144	72	144	432	72
	Объем	6×18	367	367	1469	367	1102	734	734	367	734	2203	367
7080		2(114×24+	367	367	1469	367	1102	734	734	367	734	2203	367
		+114×12)											

2.3 Ремонтные участки грузового депо

2.3.1 Тележечный участок

Техническое состояние вагонного парка, четко выраженная тенденция его старения предъявляют особые требования к техническому состоянию ходовых частей вагона. Оно является определяющим и при обосновании его ремонта по пробегу. Технология и организация работ должны обеспечивать своевременную подачу отремонтированных тележек на сборочные позиции ВСУ в соответствии с принятым методом ремонта вагонов в депо. Ремонт тележек и сборочных единиц может выполняться на поточно-конвейерных линиях или на стационарных механизированных стандах по поточному методу. Технология выполнения трудоемких ремонтных операций должна быть рациональной, обеспечивать безусловное выполнение правил и технических условий на ремонт, высокое качество восстановления ходовых частей вагонов. При деповском ремонте вагонов тележки с литыми боковинами полностью разбирают. Боковые рамы (литые боковины), колесные пары с буксовыми узлами, литую надрессорную балку, комплекты центрального рессорного подвешивания, рычажную тормозную передачу каждой тележки подвергают очистке, дефектовке и восстановлению в соответствии с предъявляемыми требованиями.

В состав тележечного участка входят несколько специализированных отделений: моечное, разборочное, осмотра и сортировки деталей; ремонта и комплектовки рам тележек, надрессорных балок, частей пружинного подвешивания и гасителей колебаний; ремонта, комплектовки и испытания деталей тормоза; общей сборки, проверки и окраски тележек. Тележки собираются по принципу взаимозаменяемости с использованием заранее отремонтированных узлов и деталей. Поэтому тележечный участок кооперируют с ремонтно-комплекточным и механическим участками, которые производят ремонт или изготовление и комплектовку деталей и узлов тележек, подаваемых на сборку. Проверенные после ремонта и окрашенные тележки передаются на вагонсборочный участок для подкатки под кузова ремонтируемых вагонов или для пополнения оборотного технологического запаса.

В процессе эксплуатации детали тележек грузовых вагонов подвергаются значительным износам и повреждениям, величина которых зависит от прочности, износостойкости, времени и условий работы деталей. При деповском ремонте восстанавливают все поврежденные или изношенные детали тележек до размеров, обеспечивающих надежную их эксплуатацию до очередного планового ремонта. Повреждения появляются также в результате неправильной эксплуатации или нарушения технологии ремонта деталей. Трещины и изломы в литых боковинах тележек и надрессорных балках обуславливаются в основном скрытыми дефектами в литье или

трещинами литейного происхождения. Трещины развиваются в результате усталостных явлений и из-за ненормальных эксплуатационных нагрузок на тележки вагонов. Наиболее часто трещины появляются в напряженных зонах литых боковин: *продольные* – в местах сопряжения надбуксовой полки с вертикальной стенкой двутавра; *поперечные* – во внутреннем углу буксового проема, в верхнем поясе, на наклонном поясе боковины, в нижнем углу проема для пружинного комплекта. Наиболее характерными для тележек вагонов с литыми боковинами являются *износы* в отверстиях кронштейнов для валиков подвески тормозных башмаков, отверстиях кронштейнов «мертвой точки», деталях рычажной тормозной передачи, подпятниках наддрессорных балок. Интенсивно изнашиваются трущиеся поверхности фрикционных клиньев и планок центрального рессорного подвешивания тележек ЦНИИ-ХЗ, реже наблюдаются износы направляющих и опорных поверхностей буксовых проемов литых боковин.

В тележках ЦНИИ-ХЗ в основном изнашиваются детали гасителей колебаний: фрикционные планки, клинья и наклонные плоскости наддрессорных балок, в результате чего изменяется положение *фрикционных клиньев* относительно наддрессорной балки. Клинья перемещаются по вертикали так, что их опорные плоскости устанавливаются выше опорных плоскостей наддрессорной балки на расстояние, пропорциональное износу указанных деталей. Смещение клиньев вызывает перераспределение нагрузки, приходящейся на пружины, установленные под клиньями и под наддрессорной балкой (под первыми – уменьшается, под балкой – увеличивается), что приводит к снижению относительного трения в рессорном подвешивании.

На основании экспериментальных исследований тележек типа ЦНИИ-ХЗ величина оптимального относительного трения установлена в пределах 8–10 % от статической нагрузки, приходящейся на пружинный комплект. Повышение или понижение относительного трения от указанной нормы ухудшает ходовые качества вагона. Для нормальной работы центрального подвешивания тележек наиболее благоприятным условием является одинаковый уровень плоскостей (опирания на пружины) клиньев и наддрессорной балки, так как нагрузка, передающаяся на пружинный комплект, поровну распределяется на все пружины как под груженым, так и под порожним вагонами. У тележек вагонов новой постройки, как правило, уровень плоскостей клиньев занижен, а у вагонов, проработавших более трех лет, – завышен. В эксплуатации величина разности уровня плоскостей клиньев и наддрессорной балки тележек вагонов колеблется в значительных пределах (от –10 до +20 мм). Изменение величины вертикального смещения клиньев относительно наддрессорной балки принимают за обобщенный показатель суммарного износа деталей гасителей колебаний. Износ каждой из рабочих плоскостей фрикционной планки, клина и наддрессорной балки только на

1 мм вызывает изменение положения уровня плоскостей клиньев в сторону завышения на 4,8 мм. Фрикционные клинья изнашиваются по вертикальной плоскости, работающей в паре с фрикционной планкой, и по наклонной плоскости, работающей в паре с надрессорной балкой. Обе плоскости клиньев срабатываются неравномерно. Наблюдается различная интенсивность износа клиньев одного вагона и даже одной тележки. Износ вертикальных стенок некоторых клиньев достигает 10–12 мм, а наклонных – 3–4 мм. В связи с этим при ремонте следует производить наплавку вертикальных и наклонных плоскостей фрикционных клиньев тележек вагонов.

Фрикционные планки по поверхности изнашиваются неравномерно и в процессе движения вагона ограничивают вертикальное и горизонтальное перемещения фрикционных клиньев, нарушают работу гасителей колебаний и рессорного подвешивания тележки как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Кроме того, увеличение расстояния между фрикционными планками также влияет на положение клиньев в пружинном комплекте литой боковины тележки относительно надрессорной балки. В связи с этим износ фрикционных планок гасителей колебаний центрального подвешивания тележек должен быть строго ограниченным.

Типичной неисправностью тележек типа ЦНИИ-ХЗ является *отрыв фрикционных планок*. Заклепочное соединение оказалось недостаточно надежным, так как в эксплуатации наблюдаются случаи не только ослабления, но и отрыва заклепок при непродолжительной работе вагона после постройки. Отрыв фрикционных планок приводит к взаимному их перемещению относительно привалочной плоскости литой боковины тележки и к износу этой плоскости. Изношенные места на боковинах тележек под фрикционными планками устраняют наплавкой с последующей механической обработкой до размеров, обеспечивающих нормальное положение планки. Постановка металлических прокладок между планками и привалочными плоскостями не допускается. Планки крепятся полномерными заклепками диаметром 18 мм с потайными головками, расположенными со стороны рабочей плоскости планки. Фрикционные планки должны плотно прилегать к привалочной плоскости боковины; местные зазоры между планкой и колонкой более 1 мм не допускаются.

Наклонные плоскости надрессорной балки изнашиваются по всей поверхности контакта на различную глубину, что объясняется отсутствием строго фиксируемого положения надрессорной балки относительно фрикционных клиньев, отклонением размеров балки, клиньев и боковин от номинальных величин, а также изменением величины угла наклона фрикционной плоскости балки относительно опорной ее плоскости.

При деповском ремонте к тележкам вагона предъявляются требования, приведенные в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Основные требования, предъявляемые к двухосным тележкам при деповском ремонте вагонов

Проверяемые узел, деталь или параметр	Предъявляемые требования
1 Трещины в боковинах тележек	Не допускаются
2 Разработка отверстий в литых боковинах для валиков подвесок тормозных башмаков	Допускается не более 3 мм по диаметру
3 Надрессорные балки	Разрешается заваривать продольные трещины в верхнем поясе балки от литейного отверстия к концевой части, идущие к подпятнику, но не переходящие на бург; в местах расположения подпятника. Разрешается наплавлять изношенные поверхности подпятника и поверхности балки, опирающиеся на фрикционные клинья. Износ поверхностей балки в местах соприкосновения с клиньями измеряется специальным шаблоном. Суммарный износ плоскостей с одного конца надрессорной балки допускается не более 15 мм
4 Шкворни с трещинами и надрывами	Заменяются новыми. Износ шкворней допускается не более 3 мм по диаметру. При большем износе шкворень восстанавливается наплавкой с последующей механической обработкой
5 Скользуну	Вкладыши скользуну с трещинами или с толщиной стенки менее 10 мм заменяются новыми. При большем износе колпак протрагивается и приваривается планка по всему периметру с учетом восстановления колпака скользуну до номинального размера
6 База тележки	Базы литых боковин для одной тележки должны быть одинаковыми (определяются измерением, а также визуально по числу несрубленных литейных шишек на наклонной части боковины)
7 Износ фрикционной планки	Допускается не более 4 мм. При большем износе планка заменяется новой или отремонтированной. Ослабшие заклепки планки запрещается подваривать, подтягивать и подчеканивать
8 Износ фрикционных клиньев	Наклонная плоскость клина не должна иметь выработку более 3 мм. Приваривать на изношенную поверхность клина планку не разрешается. Наплавка производится при износе не более 8 мм, при большем износе клинья заменяются
9 Обезличивание тележек при ремонте	Допускается при условии, что подкатываемые тележки соответствуют типу и грузоподъемности вагона, а продолжительность эксплуатации кузова и тележек после постройки или капитального ремонта одинакова

В ремонтной практике возможны несколько **методов организации производственного процесса**: стационарный, поточно-конвейерный, агрегатный, индивидуальный, обезличенный. Для того чтобы определить, какую форму организации производства ремонта тележек принять при заданной ремонтной программе, необходимо, прежде всего, провести анализ эффективности применения поточно-конвейерной или поточной линии на участке. В грузовых вагонных депо ремонт основных узлов и деталей вагонов: тележек, колесных пар, буксовых узлов, крышек разгрузочных люков полувагонов, деталей рычажной передачи тормозной системы, дверей крытых вагонов, бортов платформ, автосцепок, фрикционных аппаратов – переведен на поток. На **п о т о ч н ы х л и н и я х** ремонта широко применяются различные типы конвейеров, которые *по конструкции* подразделяют на ленточные, пластинчатые, тележечные, цепные, роликовые, роторные, напольные, подвесные, а *по принципу действия* – на непрерывные и пульсирующие. В результате **к о н в е й е р и з а ц и и** поточных линий повышается производительность труда, увеличивается съём продукции с существующих производственных площадей, регламентируется режим работы. Конвейер не только механизмирует передвижение объектов производства между операциями, но и равномерным движением обуславливает ритмичность и непрерывность процесса. Внедрение поточного метода и присущая ему дифференциация технологического процесса позволяют широко применять средства механизации и автоматизации производственных процессов, использовать специальные машины, автоматы и полуавтоматы, ремонтно-сборочные приспособления, механизированный инструмент, облегчающие трудоемкие операции и значительно повышающие производительность труда и качество ремонтных работ.

Поточный метод ремонта тележек может стать эффективным и рентабельным лишь при наличии определенных технических, организационных и экономических предпосылок. *Техническая возможность организации потока* определяется характером технологического процесса ремонта тележек, техническим оснащением участка и трудоемкостью ремонта, возможностью восстановления отдельных узлов и деталей в полном соответствии с техническими условиями на ремонт.

Организационная целесообразность поточного способа ремонта характеризуется уровнем качества, заданным количеством объектов ремонта в установленные сроки, ритмичностью производства и длительностью производственного цикла, специализацией вагонного депо и производственной структурой предприятия. *Экономическая целесообразность* определяется размером экономии за счет снижения себестоимости ремонта тележек и периодом окупаемости затрат на организацию и внедрение поточных линий на участке.

Применяется метод укрупненного определения целесообразности внедрения поточного производства на основании комплексного рассмотрения некоторых технико-экономических показателей: минимальной программы выпуска; средней трудоемкости операций; количества позиций потока; количества операций, приходящихся на одну позицию потока; минимальной себестоимости ремонта [17]. Важным показателем целесообразности организации поточного производства является достаточная программа объектов ремонта, то есть наличие соответствующего минимального объема работ для загрузки поточной линии. При определении минимального плана N_T^{\min} выпуска тележек вагонов из ремонта необходимо, прежде всего, иметь в виду трудоемкость ремонта и в основу расчета принимать соотношения между фондом времени работы поточной линии в рассматриваемый период времени (смену, месяц, год), установленной продолжительностью цикла для принятого (рассматриваемого) вида ремонта и фондом работы проектируемой поточной линии. Расчет производится, исходя из соотношения

$$\Phi_{\text{пл}} = N_T T_{\text{пр}} / F_p. \quad (2.17)$$

Учитывая, что $\Phi_{\text{пл}} = \theta_{\text{п}} K_{\text{п}}$, минимальная программа выпуска тележек из ремонта, целесообразная для организации поточной линии,

$$N_T^{\min} = q_{\text{п}} F_p / T_{\text{пр}} K_{\text{п}}, \quad (2.18)$$

где $q_{\text{п}}$ – количество позиций на поточной линии; $F_p = D T_{\text{см}} \alpha_{\text{см}}$ – фонд времени работы поточной линии в рассматриваемый период времени; D – количество рабочих дней в расчетном периоде; $T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены; $\alpha_{\text{см}}$ – количество рабочих смен; $T_{\text{пр}}$ – продолжительность производственного цикла разборки, ремонта и сборки одной тележки на поточной линии (простой в ремонте); $K_{\text{п}}$ – количество ремонтируемых тележек на каждой позиции поточной линии.

Поскольку практически поточная линия может быть организована при количестве позиций не менее двух, то, зная сменный или месячный фонд времени поточной линии и простой тележек вагонов в ремонте, можно найти минимальный выпуск отремонтированных тележек в рассматриваемый период времени, целесообразный для поточного производства. При годовом фонде времени работы поточной линии для ремонта тележек грузовых вагонов $F_p = 2074$ ч, числе позиций $q_{\text{п}} = 5$, $K_{\text{п}} = 1$ и продолжительности ремонта одной тележки $T_{\text{пр}} = 1,22$ ч минимальная годовая программа ремонта должна составлять не менее 8500 тележек.

Ремонт и усиление надрессорных балок (рисунки 2.6 и 2.7) тележек грузовых вагонов производят согласно действующим «Инструк-

тивным указаниям на ремонт надрессорной балки тележки ЦНИИ-ХЗ» № 453 ПКБ ЦВ и технологической инструкции РД 32 ЦВ 052. Поперечные трещины во внутренней колонке, расположенные не ниже 150 мм от зоны внутренней поверхности нижнего пояса надрессорной балки, независимо от их длины, ремонту не подлежат.

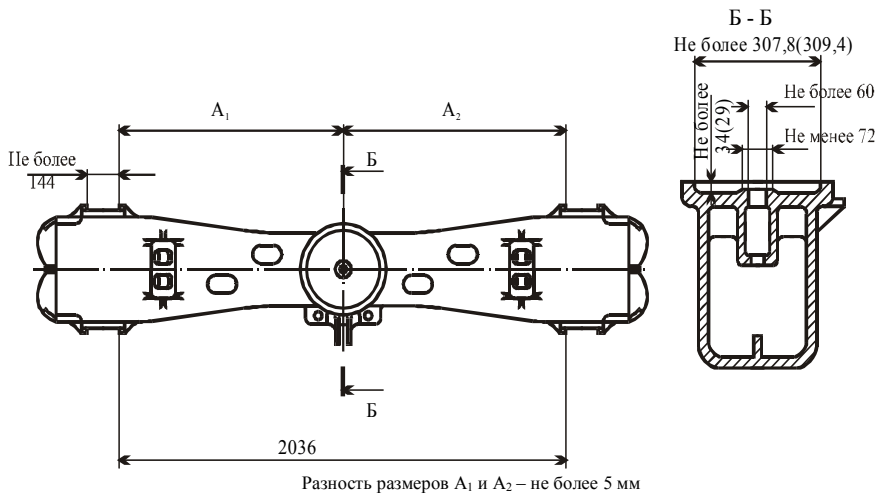


Рисунок 2.6 – Размеры надрессорных балок грузовых тележек модели 18-100 при выпуске из деповского ремонта

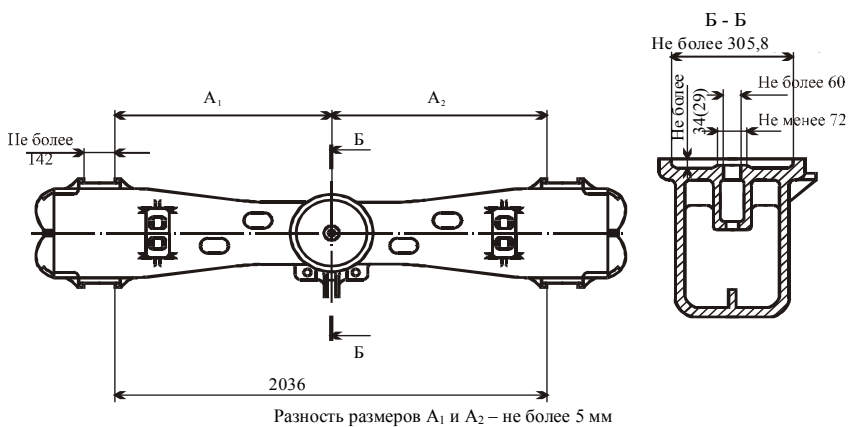


Рисунок 2.7 – Размеры надрессорных балок грузовых тележек модели 18-100 при выпуске из капитального ремонта

Ремонт *допустимых трещин* (в основании опоры скользуна, от технологических окон вдоль балки на наклонных плоскостях, на опорной поверхности подпятника) производят по требованию «Инструкции по сварке и наплавке узлов и деталей при ремонте вагонов и контейнеров» РТМ 32 ЦВ 201. Наклонные плоскости при износе более 3 мм (ДР вагонов) на сторону и более 2 мм (КР вагонов) должны восстанавливаться путем наплавки или приварки накладок из стали Ст. 45. *Приварку износостойких накладок* из стали марки 30ХГСА ГОСТ 11299 по всему периметру выполняют при модернизации тележек 18-100. Твердость наплавки или поверхности накладки должна быть в пределах от 320 до 400 НВ. Работы производят в соответствии с «Технологической инструкцией по приварке износостойких элементов и наплавке деталей тележки модели 18-100 грузового вагона» № ТИ-05-02-1В/97. Установку стальных накладок допускают после механической обработки наклонных плоскостей. Оставшаяся толщина металла наклонной плоскости перед наплавкой – не менее 7 мм. После восстановления должна быть обеспечена симметричность надрессорной балки.

Неравномерный износ опорных поверхностей *пятников и подпятников* не допускается. Равномерный износ допускается не более 3 мм при деповском ремонте и не более 2 мм – при капитальном. Такие пятники и подпятники ремонтируют наплавкой с последующей механической обработкой до чертежных (альбомных) размеров.

Изношенные или разрушенные *скользун*ы на балках следует ремонтировать постановкой верхней части скользуна на сварке. Трещины на скользунах ликвидируют сваркой в соответствии с «Типовым технологическим процессом ремонта скользунов вагонов» ТК-230 ПКБ ЦВ МПС РФ. Износ плоскости трения съемного скользуна тележки более 3 мм устраняют наплавкой с последующей механической обработкой до чертежных размеров или постановкой накладки с обваркой по всему периметру. Колпак скользуна должен иметь предельные размеры: высота узких сторон – не менее 70 мм, боковых сторон – не менее 76 мм и закрепляться сквозным болтом М12 с гайкой и шплинтом. Размеры скользуна после приварки новой части должны быть: высота – 119, ширина – 102, длина – 227 мм (допуск – минус 3 мм). Высота скользунов относительно буртов подпятника – не более 76^{-3} мм. Под колпак скользуна ставят ровные стальные (Ст. 0-3 ГОСТ 380) регулировочные прокладки толщиной 1,5–5 мм. Допускается устанавливать не более четырех регулировочных прокладок. При постановке усиливающего листа (армировки) во время ремонта шкворневой балки рамы вагона на месте постановки пятника на верхние скользуны приваривают стальные планки такой же толщины, как и толщина усиливающего листа, при условии обеспечения зазоров скользуна.

Шкворни восстанавливают при износе по диаметру более 3 мм (наплавка с последующей механической обработкой). Вагоны всех типов должны иметь шкворни установленной длины 440 ± 3 мм. Материал – круг 55 мм.

Разрешается производить ремонт отверстий пятника и подпятника путем постановки втулок с приваркой по периметру в соответствии с «Типовым технологическим процессом ремонта узла пятник – подпятник» ТК 231 ПКБ ЦВ МПС РФ. Разрешается наплавлять разработанные отверстия в кронштейне державки мертвой точки. Модернизацию подпятника наддрессорной балки с приваркой упорного кольца из листа 30 ХГСА к внутренней поверхности наружного бурта и постановкой на обработанную опорную поверхность металлической прокладки из стали 30 ХГСА производят по проекту ПКБ ЦВ МПС только для наддрессорных балок, изготовленных после 1986 года с глубиной подпятника при изготовлении 30^{+1} мм. При подкатке под вагон на подпятник наддрессорной балки тележки модели 18-100 должна быть установлена металлическая или полиамидная (сертифицированная ВНИИЖТ) прокладка, смазанная с обеих сторон солидолом.

Размеры боковых рам грузовых тележек мод. 18-100 при выпуске из деповского ремонта показаны на рисунках 2.8–2.9, где разность размеров H_1 и H_2 – не более 3 мм. При большей разности H_1-H_2 до постановки фрикционных планок соответствующие буксовые челюсти подвергают наплавке с последующей механической обработкой до указанных чертежных размеров при условии, что ширина буксового проема более 342 мм – при деповском и более 341 мм – при капитальном ремонте.

Фрикционные планки в вертикальной плоскости устанавливаются так, чтобы они были непараллельны. В нижней части расстояние должно быть увеличено на 4–10 мм. Непараллельность фрикционных планок в горизонтальном направлении допускается не более 3 мм. Фрикционные планки толщиной 16 мм меняют в случае износа по толщине более 3 мм при ДР, а при капитальном – на новые или отремонтированные наплавкой с последующей механической обработкой. Вновь устанавливаемые фрикционные планки не должны иметь коробление более 1 мм, а твердость металла должна быть 300–320 НВ на глубину более 5 мм по толщине планки. При постановке новых планок допускается рассверловка отверстий под заклепки диаметром 19 или 21 мм при деповском ремонте вагонов. Допускается установка составных фрикционных планок, состоящих из двух элементов неподвижной планки толщиной 10 мм, приклепываемой к боковой раме, и подвижной (контактной) планки толщиной от 6 до 9 мм, свободно размещаемой между неподвижной планкой и вертикальной поверхностью фрикционного клина. При этом достигается возможность подбора клиньев с различными ремонтными градациями (под ремонтными градациями понимается различная полнота клиньев). Неподвижная и контактная планки изготавливаются в соответствии с техническими условиями ТУ 32 ЦВ–2459 на модернизацию тележки (материал – сталь 30 ХГСА ГОСТ 11299 с заданной твердостью от 320 до 400 НВ). Установку фрикционной планки из двух элементов производят по проекту ПКБ ЦВ МПС РФ.

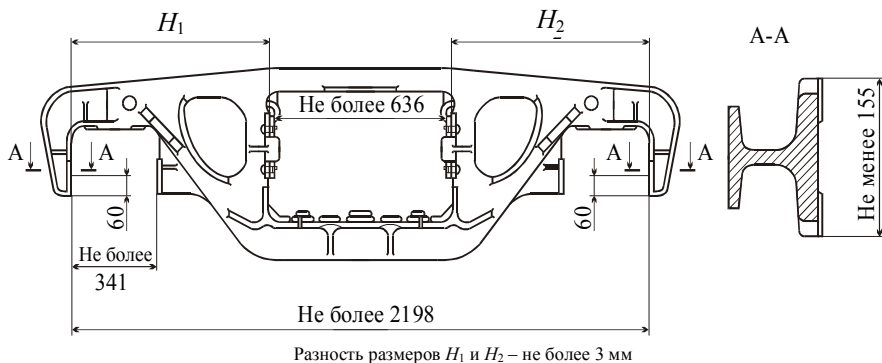


Рисунок 2.8 – Размеры боковых рам грузовых тележек модели 18-100 при выпуске из деповского ремонта

Износ направляющих плоскостей для б у к с допускается не более 4 мм на сторону при ДР и не более 3 мм – при капитальном ремонте вагонов.

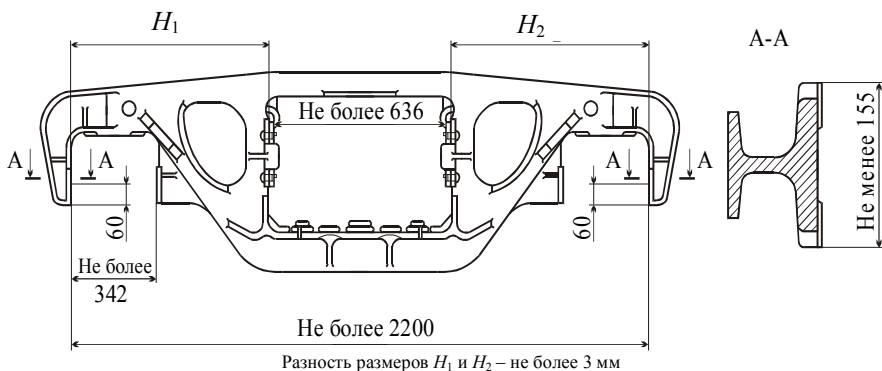


Рисунок 2.9 – Размеры боковых рам грузовых тележек модели 18-100 при выпуске из капитального ремонта

Восстанавливают боковины наплавкой с последующей механической обработкой с учетом требований $H_1 - H_2 \leq 3$ мм (см. выше). Базу боковины тележки измеряют шаблоном.

Втулки кронштейнов боковых рам тележек мод. 18-100, у которых отверстия для валиков подвески триангеля разработаны более 1 мм при деповском ремонте, а при капитальном – независимо от износа, заменяют на новые.

При ремонте пружинного комплекта тележек вагонов проверяют диаметры прутков, числа витков, высоты пружин в свободном состоянии (таблица 2.7).

Т а б л и ц а 2.7 – Х а р а к т е р и с т и к и п р у ж и н

Тележка	Пружина	Диаметр прутка, мм	Диаметр средней линии пружины, мм	Число витков		Высота пружины в свободном состоянии, мм
				полное	рабочее	
18-100	Наружная	30	170±2,5	5,5	4,7	249± $\frac{7}{2}$
	Внутренняя	19/21	111±1,5	6,45	7,95	249± $\frac{7}{2}$

Запрещается постановка пружин с разницей по высоте более 5 мм. Под фрикционные клинья гасителей колебаний следует устанавливать наиболее высокие пружины.

Схема технологической планировки участка по ремонту тележек грузовых вагонов приведена на рисунке 2.10.

Производственная программа тележечного участка депо и из-под вагонов текущего отцепочного ремонта. Если установлена целесообразность **поточного производства**, то расчет основных параметров принятой поточной линии производят по установленным зависимостям.

Непрерывным условием надежности работы поточной линии является стабильность ее такта, характеризующая наличие равенства между тактом потока и продолжительностью выполнения операций и процессов на позициях. Соблюдение этого условия обеспечивает ритмичную работу поточной линии, и чем полнее оно будет достигнуто, тем выше производительность поточной линии. Равенство достигается строгим согласованием производительности машин и труда рабочих на отдельных участках производства и в целом на позициях потока, в результате которого обеспечивается кратность продолжительности операций длительности такта.

В поточном производстве предприятий, где действуют поточные линии на основных и ремонтно-заготовительном участках, различают г л а в н ы й р и т м , представляющий собой ритм основной поточной линии, и ч а с т н ы е р и т м ы поточных линий, обеспечивающих изготовление и ремонт деталей и сборку узлов. Частные ритмы $R_{\text{чл}}$ вспомогательных линий связаны с главным ритмом $R_{\text{гл}}$ основной поточной линии вагонного депо зависимостью

$$R_{\text{чл}} = \frac{R_{\text{гл}}}{\left[N_{\text{дв}} \left(1 + \frac{D_{\text{в}}}{100} \right) \right]}, \quad (2.19)$$

где $N_{\text{дв}}$ – количество одноименных деталей или узлов, идущих на одно основное изделие; $D_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий необходимость восстановления технического задела.

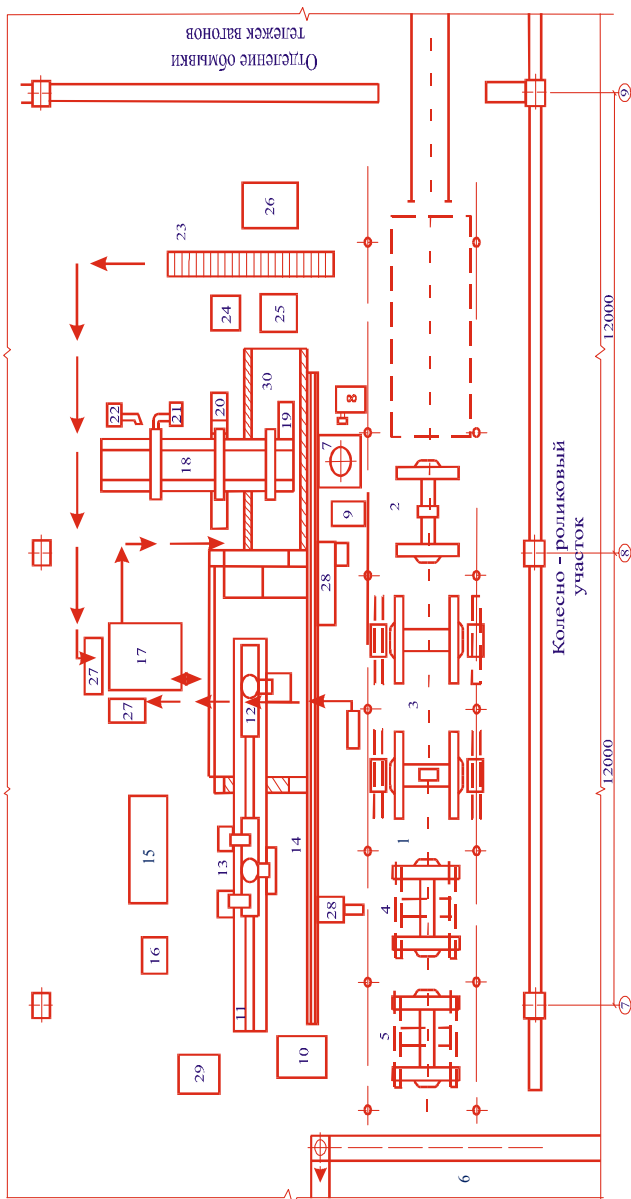


Рисунок 2.10 – Схема технологической планировки тележного участка:

1 – стэнд для дефектоскопирования литых боковин и надпрессорных балок тележек; 2 – позиция разборки тележек; 3 – позиция раздвижки литых боковин; 4 – позиция тележки; 5 – позиция накопитель; 6 – позиция установки рам на колесные пары; 7 – стэнд ремонта и испытания триангелей; 8 – гайковерт; 9 – устройство для съема триангелей; 10 – стэнд ремонта рычагов; 11 – линия ремонта надпрессорных балок; 12 – стэнд для наплавки; 13 – станок для расточки пятника; 14 – конвейер; 15 – токарный винторезный станок; 16 – вертикально-сверильный станок; 17 – поперечно-строгальный станок; 18 – линия ремонта триангелей; 19 – стэнд для наплавки цапф; 20 – станок для обточки цапф; 21 – станок для нарезки резьбы; 22 – станок для сверления отверстий; 23 – рольганг; 24 – пресс правки подвесок; 25 – стэнд для обгонки подвесок; 26 – мойка подвесок башмаков; 27 – кассета; 28 – стеллаж; 29 – стол

Внедрение поточного метода ремонта обеспечивает более рациональное разделение и использование труда, широкое применение средств механизации, что намного сокращает простой тележек в ремонте и улучшает качество ремонта. Разделение процесса на отдельные операции при разработке технологии ремонта и сборке тележек вагонов на поточной линии зависит от такта, т. е. затрата времени на отдельные операции должна быть равной или кратной величине такта. Норма штучного времени $t_{шт}$ на демонтажные операции состоит из основного (технологического) времени t_o , вспомогательного t_b , времени на обслуживание рабочего места $t_{об}$ и перерывов на физические потребности и отдых $t_{ф}$. Сумма t_o и t_b составляет *оперативное время* $t_{оп}$.

$$t_{шт} = t_{оп} \left(1 + \frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (2.20)$$

где α и β – коэффициенты, учитывающие затраты времени $t_{об}$ и $t_{ф}$.

Общая трудоемкость ремонта и сборки тележек определяется суммой штучного времени на выполнение отдельных операций. Простой тележек вагонов в ремонте принимают по установленным нормам с учетом трудоемкости ремонта и опыта работы передовых вагоноремонтных предприятий сети железных дорог. Технологический процесс ремонта тележек кроме *длительности* ремонта характеризует также *количество рабочих*, потребное на отдельные операции и на весь производственный цикл (по трудоемкости ремонта), *сроки* комплексной подачи деталей и узлов на сборку, *последовательность* выполнения ремонтных и сборочных операций.

Количество производственных рабочих R_p зависит от ремонтной программы тележечного участка N_r , затрат времени на ремонтируемую единицу t_r (трудоемкость ремонта тележки), годового фонда рабочего времени одного работника.

Средний коэффициент загрузки рабочих мест сборочной (поточной) линии

$$\eta_{ср. л} = \frac{\sum R_{сб}}{\sum R_{пр}}, \quad (2.21)$$

где $R_{сб}$ – расчетное количество сборщиков (ремонтников) по отдельным рабочим позициям потока; $R_{пр}$ – принятое количество рабочих.

Приемлемые значения коэффициента загрузки рабочих мест поточной линии $0,95 \leq \eta_{ср. л} \leq 0,98$ характеризуют использование времени рабочих.

Последовательность выполнения ремонтных и сборочных операций на поточной линии тележечного участка целесообразно принимать согласно рекомендациям и опыту работы передовых вагонных депо. Рекомендуется принимать тележечный конвейер пульсирующего типа, имеющий пять-шесть ремонтных позиций, оснащенных необходимым технологическим оборудованием, механизированным инструментом и приспособлениями. Те-

лежки, поступившие в ремонт, подвергают последовательной обмывке подогретым раствором каустической соды под давлением в специальных моечных машинах и водой, а затем – обдувке теплым воздухом для ускорения процесса сушки. Для механизации обмывки тележек при ремонте вагонов создано несколько конструкций одно- и многокамерных машин струйного типа. Давление моющего раствора в машинах составляет 0,6–1,6 МПа (6–16 кгс/см²). Механизированный струйный метод очистки и обмывки производительнее стационарного, осуществляемого в ваннах, в 5–8 раз, так как химическое разрушение старой краски и засохшей грязи растворами щелочей сочетается с ударным воздействием струй моющих жидкостей. В машинах с многократным использованием обмывочной жидкости предусмотрены специальные очистные устройства (гидроциклон, гряземешалка и пр.). Резервуары для моющих жидкостей оборудуют нагревательными устройствами и автоматическими терморегуляторами, поддерживающими температуру раствора и воды в заданных пределах. Для нагнетания жидкостей по трубам к соплам коллекторов обмывочных камер моечных машин применяют лопастные, центробежные и вихревые насосы с подачей от 20 до 180 м³/ч жидкости, нагретой до 100 °С. Требуемая *подача насоса моечной установки*, м³/ч,

$$Q_n = \alpha n \mu F \cdot 3600 \sqrt{2gH}, \quad (2.22)$$

где $\alpha = 1,1 \dots 1,3$ – коэффициент запаса; n – количество сопел; $\mu = 0,45 \dots 0,90$ – коэффициент расхода, принимаемый в зависимости от формы отверстия и типа насадки; F – площадь поперечного сечения отверстия сопла насадки, м²; g – ускорение силы тяжести, м/с²; H – напор (давление перед соплом).

Мощность, кВт, потребляемая центробежным насосом,

$$N_n = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta}, \quad (2.23)$$

где ρ – плотность моющего раствора, кг/м³; Q – подача насоса, м³/с; H – напор (давление), создаваемое насосом, м; $\eta = \eta_m \eta_o \eta_r$ – коэффициент полезного действия центробежного насоса, учитывающий механические, объемные и гидравлические потери.

Вместимость резервуаров в моечных установках для обмывки тележек – 8–10 м³. Наибольшее распространение на сети дорог получила однокамерная механизированная установка для обмывки тележек, впервые внедренная в вагонном депо ст. Московка. Кожух обмывочной камеры – восьмигранный, подъемный. Поднимается кожух перед подачей тележек на мойку или выкаткой их из машины специальным подъемным механизмом. В камере располагаются трубы вентиляционной системы машины, нагнетательные трубы и обмывочные струйные батареи. Вращение трубы с соплами осуществляется электродвигателем через редуктор.

Рамы обмытых тележек снимают с колесных пар грузоподъемными механизмами и устанавливают на конвейер, на позициях которого последовательно производят разборку, осмотр, ремонт и замену деталей, сборку и окраску.

I п о з и ц и я – *разборка деталей тормозного оборудования тележки*. Снимают рычаги, предохранительные скобы, тормозные колодки, тормозные башмаки с подвесками, триангели. Снятые детали отправляют в комплектовочное отделение для освидетельствования, ремонта, испытания и сборки в комплекты для последующей установки на тележку.

II п о з и ц и я – *разборка центрального подвешивания*. Снимают пружинные комплекты. В тележках ЦНИИ-ХЗ осматривают и проверяют фрикционные устройства гасителей колебаний. Проверяют плотность прилегания фрикционных планок к поверхностям боковин, расстояние между планками, а также при помощи шаблона – их параллельность в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Снятые детали центрального подвешивания тележек укладывают в кассеты и транспортируют на специализированную поточную линию ремонта и комплектовки узлов.

III п о з и ц и я – *раздвижка боковин тележек*. Литые боковины отсоединяют от надрессорной балки с помощью специального приспособления, поворачивают на кантователях, осматривают места возможного образования трещин, обмеряют рессорный проем, фрикционные планки, отверстия в кронштейнах боковин для роликов подвески тормозных башмаков. Надрессорная балка поворачивается на кантователе для осмотра и обмера шаблоном поверхностей трения в местах соприкосновения с фрикционными клиньями. При необходимости наплавляют изношенные поверхности, заваривают трещины, наплавляют подпятник в соответствии с техническими указаниями на производство сварочных и наплавочных работ при ремонте вагонов. Перепрессовывают изношенные волокнитовые втулки в отверстиях для роликов подвесок тормозных башмаков, заменяют неисправные заклепки фрикционных планок, навешивают боковины на балку.

IV п о з и ц и я – *рассверловка отверстий в кронштейнах литых боковин для роликов подвесок тормозных башмаков, запрессовка втулок в отверстия после их рассверловки*. Производят сварочные работы, которые не могли быть выполнены на позиции III, смену фрикционных планок с помощью пневмогидравлических приспособлений для клепальных работ, восстановление скользунгов.

V п о з и ц и я – *окраска места под рессорно-пружинные комплекты и сборка рамы тележек*. Сюда поступают заранее собранные и испытанные триангели, а также пружинные и рессорные комплекты. На данной позиции должен быть сконцентрирован запас роликов, шайб, чек, шплинтов, предохранительных скоб, рычагов, тормозных колодок, фрикционных клиньев.

VI позиция – смазка подпятника и скользуна, окраска с помощью специального приспособления рамы тележки и установка краном на собранные с буксами колесные пары. Производят осмотр и приемку тележки.

Технологический процесс ремонта тележек грузовых вагонов модели 18-100 на четырех позициях ПКЛ представлен в таблице 2.8.

Для регулировки зазоров между скользунами под колпак скользуна устанавливают ровные стальные (Ст 3) регулировочные прокладки толщиной 1,5–5 мм. Высота скользунов относительно бурта подпятника допускается не более 76,3 мм. Устанавливают не более четырех регулировочных прокладок. Размеры скользуна после приварки новой части должны быть: высота – 119,3, ширина – 102,3, длина – 227,3 мм.

Наплавку изношенных поверхностей литых боковин тележек при ремонте вагонов производят универсальным шланговым полуавтоматом А-765 порошковой проволокой, содержащей шлако- и газообразующие компоненты, а также специальной легированной проволокой. Применяют установку для полуавтоматической наплавки подпятниковых мест литых надрессорных балок, в которой в качестве сварочного агрегата используют сварочный шланговый полуавтомат ПШ–5–У, приспособленный к данной установке. После восстановления наплавкой изношенных поверхностей производят механическую обработку их до размеров, обусловленных техническими условиями на ремонт.

Таблица 2.8 – Технологический процесс ремонта тележки 18-100

№ позиции	Содержание работы	Единица измерения	Оборудование, инструмент, приспособления	Учтенный объем работы	Оперативное время, чел·мин		
					на единицу измерения	на тележку	
						всего	в т. ч. механизированное
I	1 Раму тележки на позицию разборки подать	Тележка	Кран-балка	1,00	0,66	0,66	0,66
	2 Рычажную передачу разобрать	"	Кран, подъемник, молоток, бородок	1,00	12,90	12,94	12,94
	3 Устройство предохранительного валика подвески тормозного башмака отнять	Устройство	Струбцина	4,00	0,225	0,90	–
	4 Рессорный комплект разобрать	Комплект	–	2,00	4,45	8,90	–
<i>Итого</i>						23,40	13,60

Продолжение таблицы 2.8

№ позиции	Содержание работы	Единица измерения	Оборудование, инструмент, приспособления	Учтенный объем работы	Оперативное время, чел-мин		
					на единицу измерения	на тележку	
						всего	в т. ч. механизированное
II	5 Раму тележки на позицию подать	Тележка	Кран-балка	1,00	0,66	0,66	0,66
	6 Боковины литые рамы раздвинуть	”	Кантователь	1,00	1,56	1,56	1,56
	7 Отверстия в кронштейнах боковин рассверлить и втулки запрессовать	Отверстие	Сверлильная установка	0,14	22,91	3,29	3,29
	8 Втулку волоконную кронштейна боковины сменить	Втулка	Молоток, бородок	0,94	0,32	0,30	–
	9 Заклепку планки фрикционной сменить	Заклепка	Индукционный нагреватель, гидроскоба, клещи	1,40	1,41	1,97	1,97
	10 Планку фрикционную сменить	Планка	То же	0,27	14,90	4,08	4,08
	11 Боковую раму тележки сменить	Рама	Кран-балка	0,01	5,09	0,05	0,05
	12 Надрессорную балку сменить	Балка	–	0,02	3,25	0,03	0,03
	13 Боковые балки сдвинуть	Тележка	Кантователь	1,00	1,31	1,31	1,31
<i>Итого</i>					13,25	7,48	
III	14 Раму тележки на позицию подать	Тележка	Кран-балка	1,00	0,66	0,66	0,66
	15 Рессорный комплект собрать	Комплект	Струбцина	2,00	5,49	10,98	–
	16 Рычажную передачу собрать	Тележка	Кран-балка, молоток, бородок	1,00	10,76	10,76	–
	17 Устройство предохранительное валика подвески установить	Устройство	Молоток	4,00	0,35	1,40	–
<i>Итого</i>					23,80	0,66	

Окончание таблицы 2.8

№ позиции	Содержание работы	Единица измерения	Оборудование, инструмент, приспособления	Учетный объем работы	Оперативное время, чел-мин		
					на единицу измерения	на тележку	
						всего	в т. ч. механизированное
IV	18 Раму тележки на позицию навески подать	Рама	Кран-балка	1,00	0,66	0,66	0,66
	19 Раму тележки на колесные пары установить	Тележка	–	1,00	2,12	2,12	2,12
	20 Скользуну отрегулировать	Скользун	–	0,66	2,67	1,76	–
	21 Отремонтированную тележку на ВСУ подать	Тележка	Конвейер, подъемно-поворотное устройство	1,00	4,21	4,21	4,21
<i>Итого</i>						8,75	6,99
	Всего без ремонта триангелей	Тележка	Механизированная поточная линия			69,40	28,74
	Триангель с разборкой и сборкой отремонтировать	Триангель	Конвейерная линия	2,00	21,01	42,02	15,84
	<i>ВСЕГО</i> с ремонтом триангелей	Тележка	–			111,42	44,58

В условиях поточного производства на участке ремонта тележек организуют не только специализированную поточную линию по разборке и общей сборке тележек, но и поточные линии по ремонту и комплектровке частей рычажной передачи тормоза. Каждую поточную линию тележечного участка оснащают конвейером соответствующей конструкции (в зависимости от условий производства) и устройством, обеспечивающим автоматическое управление процессами в соответствии с принятым тактом работы.

Ремонт буксовых узлов на подшипниках качения производят в роликовом отделении участка по ремонту колесных пар. Отремонтированные колесные пары вместе с буксовыми узлами на подшипниках качения подаются непосредственно на позицию навески рам поточной линии по ремонту тележек. Для осмотра, ремонта и проверки размеров рычажную передачу разбирают; все детали (вертикальные рычаги, нижнюю распорную тягу, подвески тормозных башмаков, триангели, тормозные башмаки, державку «мертвой точки») после очистки подвергают дефектовке (для выявления износа, трещин) и восстановлению.

Тормозные тяги и распорки вертикальных рычагов испытывают на растяжение. Нагрузка при испытании устанавливается по площади наименьшего сечения из расчета 160 МПа (16 кгс/мм²). Тормозные тяги в местах сварки подвергают магнитному контролю после изготовления и приварки новых частей стержней.

Тормозные башмаки снимают с триангелей и выполняют сварочные работы по устранению дефектов. У триангелей производят заварку трещин в сварных швах приваренных элементов, наплавку изношенных посадочных мест тормозных башмаков и изношенных резьб цапф, наплавку гнезд распорок, торцов хомутов, а также отверстий в распорках. Восстановление сваркой разрешается, если износ составляет не более 5 мм на сторону; разработка гнезд и отверстий также не должна превышать 5 мм на сторону. Отремонтированные триангели испытывают на растяжение двукратным нагружением. Нагрузка при испытании – 12 т. Триангель при испытании дважды подвергают нагрузке установленным усилием в течение 2–3 мин. После каждой разгрузки его тщательно осматривают с целью выявления возможных трещин и производят измерения расстояний между балкой и вершиной струны триангеля. Если результаты первого и второго измерений будут одинаковы, то триангель признают выдержавшим испытание, в противном случае – бракуют. О производстве испытаний на растяжение на средней части балочки триангеля ставят клеймо ремонтного пункта и дату испытания. На цапфах триангелей тележек типа ЦНИИ-ХЗ должны быть поставлены предохранительные наконечники.

Тормозные башмаки, имеющие продольную выработку паза для ушка колодки, ставить на триангели не разрешается, если износ будет составлять более 5 мм. При деповском ремонте указанный дефект исправляют электронаплавкой. Подвески башмаков, имеющие износ в нижних углах изгиба подвески и разработанные отверстия под валик, восстанавливают электронаплавкой, если износ не превышает 5 мм на сторону. Неисправные детали тормозной рычажной передачи, имеющие износ и разработку отверстий, восстанавливают электронаплавкой и приваркой усиливающих шайб в соответствии с ТУ на производство сварочных работ при ремонте вагонов с последующей механической обработкой отверстий.

Ремонт и испытание триангелей целесообразно предусматривать на поточной линии, оснащенной необходимым оборудованием, механизированным инструментом и приспособлениями, или на механизированных стендах.

Комплексно-механизированная линия ремонта триангелей рычажной передачи тормоза включает в себя несколько *специализированных позиций* (разбивку ремонтных операций по позициям поточной линии корректируют в зависимости от конкретных условий производства в вагонном депо):

I – осмотр триангелей, выбивка шплинтов, отвертывание гаек, снятие тормозных башмаков. Позицию оборудуют стендом с электрогайковертом, гидравлическим приспособлением для удаления шплинтов;

II – срезка негодных швов, наплавка изношенной резьбы цапф триангеля, заварка разделанных трещин, наплавка изношенных частей балочки, струнки и отверстия в распорке. Цапфы наплавляют автоматической сваркой в среде углекислого газа или порошковой проволокой в специальных установках;

III – фрезерование отверстий в распорке, нарезание резьбы на цапфах триангеля, сверление отверстий под шплинт. На позиции устанавливают горизонтально-фрезерный станок (приспособление), резьбонарезной и вертикально-сверлильный станки;

IV – установка тормозных башмаков, наворачивание корончатых гаек и шплинтование, испытание триангелей, постановка клейм об испытании.

Неисправные детали пружинных комплектов с участка дефектовки точной линии по ремонту тележек должны направляться в кузнечно-рессорное отделение ремонтно-комплектовочного участка вагонного депо для ремонта и сборки узлов, последующей их установки в проемы литых боковин при полной сборке тележек вагонов. Взамен неисправных деталей на позицию сборки подают отремонтированные или новые из оборотного технологического запаса.

При сборке тележек грузовых вагонов необходимо учитывать следующие основные требования. На одну тележку разрешается устанавливать литые боковины с разностью размеров между внутренними гранями крайних челюстей буксовых проемов не более 2 мм (по базовому размеру 2185_{-5}^{+7} мм боковины разделяют на шесть групп с градацией через 2 мм). Пружины в один комплект должны подбираться с разностью по высоте не более 3 мм, чтобы при сборке тележки обеспечивалось плотное прилегание опорных поверхностей боковин и корпусов букс. Плотность прилегания проверяется щупом толщиной 1 мм. В свободном состоянии высоту от уровня головки рельса до подпятника собранной тележки контролируют шаблоном (806_{-21}^{+12} мм), при этом расстояние между плоскостями подпятника и скользунов (при одной прокладке) не должно превышать 95 мм. Обобщающим показателем правильности ремонта фрикционных клиньев, планок и надрессорной балки является положение уровня клиньев относительно надрессорной балки, которое проверяют в собранной и подкаченной под вагон тележке. По технологическим и эксплуатационным условиям практически невозможно обеспечить положение плоскостей фрикционных клиньев и надрессорной балки в одном уровне, поэтому устанавливают допускаемые размеры при деповском ремонте (среднее превышение клиньев относительно опорной поверхности надрессорной балки допускается не более 3 мм, а занижение – не более 8 мм).

С целью недопущения обезлички тележек при поточном методе ремонта следует предусматривать возможность смещения тактов поточных линий вагоносборочного участка или применение специальной технологической оснастки, позволяющей производить подкатку отремонтированных тележек под вагон на любой позиции поточной линии ВСУ. При постановке отремонтированных тележек под вагон проверяется суммарный зазор между скользунами каждого конца вагона, который должен быть не больше 16 и не меньше 6 мм. Отсутствие зазора между скользунами, расположенными по диагонали вагона, не допускается. В тележках с буксовыми узлами на роликовых подшипниках суммарный зазор между направляющими корпуса буксы и направляющими буксового проема боковых рам вдоль тележек должен быть от 6 до 15, а поперек – от 5 до 13 мм.

На тележках четырехосных вагонов особо тщательно проверяют подвески тормозного башмака в углах изгиба, надежность крепления валиков подвесок чеками, правильность постановки предохранительных скоб распорки вертикальных рычагов, правильность постановки и крепления валиков вертикальных рычагов. Проверяют регулировку рычажной передачи, соединение ее рычагов с головкой штока, мертвой точкой и с главными тягами. Рычажная передача должна быть отрегулирована так, чтобы вертикальные рычаги имели примерно одинаковый наклон с обеих сторон вагона. При проверке валиков рычажной передачи необходимо убедиться, что на них поставлены типовые шайбы и шплинты и что валики, установленные горизонтально, обращены шайбами и шплинтами наружу вагона в одну сторону, а валики, расположенные вертикально, поставлены головками кверху. Общий зазор в шарнирных соединениях рычажной передачи должен быть не более 3 мм. Тормозные колодки не должны выступать за наружные кромки ободов цельнокатаных колес и должны равномерно отстоять от поверхности обода.

Поточный метод ремонта и сборки тележек может быть применен как при подвижном, так и при неподвижном объектах ремонта. В первом случае – это рассмотренная выше поточная подвижная сборка, выполняемая на транспортных устройствах различного вида. При неподвижной поточной сборке каждая группа исполнителей работ переходит от одного стенда к другому, выполняет только определенную, присвоенную данной группе операцию, в промежуток времени, соответствующий такту сборки (ремонта). Готовые изделия снимают со стендов поочередно в соответствии с тактом поточной линии (такт выпуска изделий – промежуток времени, через который собранное изделие выходит с поточной линии). Если при заданной программе ремонта вагонов будет установлена нецелесообразность применения поточного метода, следует разрабатывать технологический процесс при стационарной форме организации работы на специализированных механизирован-

ных стандах из условия обеспечения поточного производства на вагонсборочном участке грузового вагонного депо. Стационарный ремонт характеризуется тем, что его выполняет ремонтная бригада (группа рабочих) на одной позиции, оборудованной всеми необходимыми технологическими и транспортными устройствами, приспособлениями, инструментом, к которой подаются отремонтированные узлы и детали, потребные для полной сборки тележки.

При стационарно-узловом методе полный цикл ремонтно-сборочных работ расчленяется на узловую и общую сборку. Общую разборку и сборку ремонтируемой тележки выполняет основная бригада на одном рабочем месте, а ремонт детали и сборку узлов – другие группы рабочих на специализированных рабочих местах, оборудованных приспособлениями и средствами механизации. Это позволяет значительно расширить фронт работ за счет дифференциации ремонтно-сборочного процесса, а также обеспечить механизацию трудоемких работ за счет специализации операций процесса. Применение стационарно-узлового метода за счет уплотнения и параллельности операции значительно сокращает длительность и уменьшает трудоемкость ремонтно-сборочных работ. Указанное преимущество обуславливает широкое применение в вагонных депо стационарно-узлового метода ремонта, получившего также название комплексно-уплотненного. Однако и для стационарно-узлового характерны некоторые недостатки стационарного метода: потребность в большом количестве рабочих высокой квалификации, неполное использование средств механизации и оборудования, сравнительно низкая производительность труда. Чем больше фронт работ, тем ярче проявляются указанные недостатки, устранить которые можно лишь применением поточного метода ремонта.

После обмывки выкаченных из-под вагонов тележек (при стационарной форме организации производства) рамы последних снимают с колесных пар и распределяют по стационарным позициям (механизированным стандам), где производят их полную разборку, осмотр, ремонт литых боковин и надрессорных балок, замену неисправных деталей и узлов и полную сборку. При данной форме организации производства следует предусматривать позиции (площадки) для отстоя рам тележек, ожидающих ремонта, позиции или отделения для организации ремонта снимаемых деталей тормозной рычажной передачи, центрального подвешивания, буксовых узлов тележек вагонов, имеющих износы и повреждения. Отремонтированные детали и колесные пары подаются на каждую позицию для комплектовки пружинно-рессорных комплектов и фрикционных гасителей колебаний, рычажной передачи тележек и навески рам на колесные пары. Число механизированных стандов, необходимых для стационарной разборки, ремонта и сборки годового количества тележек грузовых вагонов, определяются расчетным путем.

При расчете количества производственных рабочих по трудоемкости ремонта используют формулу

$$R_p^{cp} = \frac{N_T t_T}{F_p^{cp} m}, \quad (2.24)$$

где $t_T = t_{сб}$ – нормированное время на разборку, замену деталей, ремонт и сборку тележки (затраты времени на одну ремонтируемую тележку, чел · ч); m – количество стандов, обслуживаемых одним рабочим.

Для выбора устройств вытяжной вентиляции от технологического оборудования (местные отсосы, воздуховоды, вентиляторы, электродвигатели и пр.) необходимо рассматривать конкретные условия производства. Местная вытяжная вентиляция на участке по ремонту тележек грузовых вагонов предназначена для улавливания загрязненного воздуха у источников возникновения вредных для организма человека выделений и недопущения распространения вредностей по объему помещения. Удаление загрязненного воздуха посредством местных отсосов (локализирующая вентиляция) является наиболее эффективным приемом вентилирования производственных участков и отделений. Местные отсосы должны быть предусмотрены на участке моечных установок, позиций сварки и наплавки деталей, окраски и сушки, участке заточных станков. Приемники местных отсосов связывают системой воздуховодов для удаления отсасываемого воздуха из помещения. Перемещение воздуха по воздуховодам осуществляется вентиляторами низкого, среднего и высокого давлений. Для компенсации вытяжки воздуха из-под укрытий локализирующей вентиляции (местных отсосов) в помещение в отдалении от источников выделения вредностей должен подаваться чистый воздух (**приточная вентиляция**). При механической **вытяжке** воздуха из помещения без организации механического притока (**приточная вентиляция**) на участок будет поступать воздух с соседних помещений или наружный воздух за счет инфильтрации через неплотности в окнах, дверях и пр. Расчет системы вытяжной вентиляции, выбор необходимого оборудования производят с учетом объемной массы выделяемых вредностей, степени их токсичности, особенностей технологического процесса ремонта тележек грузовых вагонов.

Производственную площадь отделений тележечного участка определяют по площади $S_{об}$, занятой оборудованием, с учетом площади рабочих мест перед оборудованием, проходов и нормального расстояния между оборудованием и элементами здания:

$$S_{уч} = S_{об} + 4R_{яв} + (0,2 \dots 0,4) S_{об}. \quad (2.25)$$

Расчетные площади отделений окончательно уточняют после размещения оборудования на плане тележечного участка. Участок по ремонту тележек вагонов обычно располагают в одном из пролетов основного здания вагонного депо параллельно вагонсборочному участку. Ширина пролета

принимается 12; 18; 24 м. Длина тележечного участка определяется планировкой оборудования, разборочных, ремонтных и сборочных (комплектовочных) отделений, поточных линий, рабочих мест и складских (технологических) площадок. При планировке и компоновке оборудования необходимо соблюдать последовательность его размещения по ходу выполнения технологического процесса, стремиться при этом обеспечить не только прямоточность производства и наиболее рациональную специализацию работ, но и достигнуть наилучшего использования технологического и подъемно-транспортного оборудования. Для укрупненных подсчетов рекомендуется руководствоваться нормами технологического проектирования. Так, например, при годовой ремонтной программе депо 4500–5300 вагонов (в физическом исчислении) норма площади тележечного участка с поточно-конвейерной линией, а также отделения ремонта роликовых подшипников и букс и сборки их на колесных парах при 100%-ном оборудовании вагонов роликовыми подшипниками – 720 м².

2.3.2 Участок по ремонту колесных пар

Совершенствование колес и осей, повышение их долговечности и надежности сопряжения при возрастающих требованиях к безопасности движения подвижного состава должны осуществляться параллельно с исследованиями дальнейшего увеличения нагрузочной способности колесных пар. Улучшение состояния колесных пар производилось в направлении использования прогрессивных материалов, совершенствования конструкции и технологии обработки соединяемых элементов (колес и осей), улучшения технологии формирования.

Важнейшая из технологических операций изготовления колесных пар – механическая напрессовка колес на оси – требует всемерного совершенствования, т. к. недостаточная прочность приводит к опасным бракам в эксплуатационной работе. Применяемая технология сборки колесных пар из готовых элементов предполагает использование соединений с гарантированным натягом в зоне контакта сопрягаемых деталей. Напряженное состояние этих соединений в эксплуатации обуславливается сложным характером нагружения, и, если сопротивление посадки осевому сдвигу недостаточно, происходит расчленение сопряжения.

Случаи разрушения соединений свидетельствуют о том, что не только сам процесс формирования соединений колесных пар вагонов, но и способ контроля за качеством получаемых механической запрессовкой соединений требуют совершенствования с целью обеспечения стабильной прочности получаемых сопряжений с гарантированным натягом. Прочность сопряжения посадок колес на осях достигается созданием натяга при сборке соединений между контактируемыми посадочными поверхностями формируемых соединений.

Соединения с гарантированным натягом – один из основных видов неподвижных соединений деталей машин – представляют собой напряженные посадки. Они просты по конструкции и технологии изготовления: хорошее базирование в процессе сборки, отсутствие промежуточных связующих деталей. Недостаток цилиндрических соединений с натягом – невозможность допущения даже однократной их перегрузки. Перегрузка может вызвать смещение соединенных деталей и окончательное разрушение посадки.

При насадке охватывающей детали (колеса) с меньшим диаметром отверстия на охватываемую (ось колесной пары) на поверхности сопряжения возникают силы сцепления, препятствующие взаимному смещению деталей. Прочность сопряжения соединений с гарантированным натягом зависит от величины силы трения между поверхностями контактирующих деталей, при этом силы трения в зоне сопряжения, обусловленные контактным сжатием, оказывают сопротивление внешним нагрузкам. Согласно молекулярно-механической теории трение обуславливается деформированием тонкого поверхностного слоя контактирующих тел внедрившимися неровностями и сопротивлением разрушению пленок, покрывающих поверхности контакта.

Сила трения связана с микроскопическими изменениями конфигурации контактирующих тел, локализованных в поверхностных слоях. Внешние нагрузки уравниваются неполной силой трения, и тела находятся в покое. Неполная сила трения покоя предполагает малые, частично обратимые перемещения, величина которых пропорциональна приложенным сдвигающим или скручивающим усилиям. Неполная сила трения изменяется с увеличением сдвигающего усилия от нуля до некоторой максимальной величины, называемой неполной силой трения покоя. Полная сила трения покоя соответствует предельной величине предварительного смещения, переходящего в относительное смещение сопряженных деталей. Отношение максимальной силы, затрачиваемой на преодоление связей, вызываемых контактом двух сжатых тел, к контактной нагрузке характеризует величину коэффициента трения.

Коэффициенты трения подчиняются некоторым общим закономерностям, причем для сухого, граничного и жидкостного состояний они различны:

– при сухом трении на поверхностях, покрытых пленками менее прочными, чем основной металл, с увеличением нагрузки коэффициент трения снижается;

– при граничном трении (поверхности контакта покрыты жидкими пленками) в зоне малых удельных нагрузок коэффициент трения снижается при увеличении нагрузки, а затем остается неизменным (при дальнейшем повышении нагрузки может возрастать его значение);

– при жидкостном трении, когда пленки жидкости имеют толщину 0,1 мкм и более (так как в пленках такой толщины уже проявляются объемные свойства жидкости), коэффициенты трения возрастают с увеличением нагрузки.

В практических расчетах соединений с гарантированным натягом в большинстве пособий рекомендуется принимать коэффициенты трения постоянными порядка 0,08. В действительности же величина коэффициента трения зависит от многих факторов. Для одной и той же трущейся пары материалов коэффициенты трения изменяются в широких пределах. Для стали, трущейся по стали, коэффициент трения может составлять 0,05–0,80. При механической запрессовке колесных пар вагонов значения коэффициентов трения в пределах 0,07–0,15 в зависимости от чистоты обработки сопрягаемых деталей, скорости запрессовки, условий смазки поверхностей контакта, удельного давления в сопряжении, обусловливаемого величиной натяга формируемого соединения, составляют 0,07–0,015.

Таким образом, действительная несущая способность соединений с гарантированным натягом предопределяется сложными процессами трения между поверхностями контакта сопряженных деталей. В частности, процессы трения, происходящие в зоне сопряжения колес с осями колесных пар вагонов при их относительном сдвиге под нагрузкой, во многом зависят от состояния поверхностей контакта, которое они приобретают после сборки. Поэтому в указанном направлении сохранения исходного микропрофиля сопрягаемых поверхностей деталей при сборке соединений с натягом кроется существенный резерв повышения прочности сопряжения колесных пар.

Несмотря на давность формирования соединений с гарантированным натягом, до сих пор не решены полностью вопросы наиболее эффективной технологии сборки, обеспечивающей высокую нагрузочную способность сопряжений колес с осями. Задачи улучшения технологии формирования и повышения прочности соединений с натягом могут быть решены путем внедрения новых прогрессивных технологий и всемерного совершенствования применяемых традиционных технологических процессов сборки напряженных посадок.

Точность цилиндрических соединений с натягом характеризуется: совпадением геометрических осей охватывающей и охватываемой деталей; точностью углового положения в сечении, перпендикулярном оси; точностью относительного продольного расположения деталей и точностью макрогеометрии последних (отсутствием отклонений геометрической формы посадочных поверхностей – овальности, конусообразности, волнистости, седлообразности, бочкообразности и пр.).

Несущую способность соединений с гарантированным натягом оценивают величинами наименьшего осевого усилия сдвига или крутящего момента, при которых произойдет относительное смещение сопряженных де-

талей. **Величина статической осевой нагрузки**, которую может выдержать цилиндрическое соединение с натягом без относительного смещения в сопряжении, определяется поверхностью контакта πdl (где d – диаметр сопряжения, l – длина посадки), величиной коэффициента трения f_{oc} при осевом сдвиге и удельным давлением p_k в сопряжении и, обусловливаемым величиной натяга между поверхностями сопряженных деталей, т. е.

$$P_c = \pi dl f_{oc} p_k. \quad (2.26)$$

При скручивании посадки величина крутящего момента определяется с учетом коэффициента трения f_k при кручении:

$$M_{кр} = \left(\pi d^2 / 2 \right) f_k p_k. \quad (2.27)$$

Существующие **методы расчета соединений с гарантированным натягом** основаны на решении классической в теории упругости задачи Ляме. При инженерном расчете прочности соединения предполагается, что контактные поверхности соединяемых с натягом деталей идеально гладкие и имеют идеально цилиндрическую форму. В действительности же реальные детали всегда имеют отклонения от заданных параметров и формы, а в зоне контакта возникают не только упругие, но и пластические деформации.

Прочность соединений с натягом определяется комплексом физических процессов, происходящих в зоне контакта деталей, зависящих от величины натяга, характера и чистоты обработки, механических свойств материала деталей, наличия покрытий, смазки и пр. Влияние указанных факторов в свою очередь зависит от метода (технологии) сборки соединений. В результате действительная несущая способность соединений, как правило, далеко не совпадает с расчетной, а сам расчет носит весьма условный характер.

Наибольшие усилия выпрессовки P_c отмечаются в начальный момент взаимного смещения деталей. Затем величина усилия резко падает, и на протяжении некоторой длины выпрессовки ее среднее значение удерживается на более или менее постоянном уровне, который можно характеризовать как усилие установившегося смещения, а затем постепенно уменьшается до нуля. Следовательно, у соединений с гарантированным натягом наиболее важными являются процессы, происходящие в начальный момент взаимного смещения деталей под действием нагрузки, которые по существу и определяют эксплуатационную надежность соединений.

Широкое распространение получил **способ оценки исходной прочности сопряжения цилиндрических соединений с натягом** по величине конечных усилий механической запрессовки. Однако вследствие отсутствия четкой линейной зависимости между конечными запрессовочными усилиями и усилиями сдвига при статическом приложении аксиальной нагрузки указанный способ позволяет оценить лишь общие закономерности рассматриваемого процесса. В экспериментальных исследованиях прочность сопря-

жения оценивается отношением усилия сдвига при центральном приложении осевой сдвигающей нагрузки к конечному запрессовочному усилию при механической сборке, т. е. коэффициентом относительной прочности $\varphi = P_c / P_z$. Такая оценка справедлива лишь при условии равенства конечных запрессовочных усилий, поэтому коэффициент относительной прочности может быть использован при решении ограниченного круга вопросов формирования соединений с гарантированным натягом.

Выбор величины натяга в соединении колес с осями в пределах 0,10–0,25 мм не регламентирован при условии, что конечные запрессовочные **усилия** будут находиться в пределах 39–58 тонн (370–550 кН) на 100 мм диаметра сопряжения. При этом предполагается, что усилия распрессовки не могут быть ниже конечных запрессовочных усилий.

Повышение эксплуатационной надежности колесных пар вагонов существенно зависит от увеличения нагрузочной способности соединений колес с осями. Прочность напрессовок колесных пар должна быть достаточной, чтобы обеспечить восприятие эксплуатационных нагрузок без относительного смещения сопряженных элементов и без усталостного разрушения осей в течение всего срока службы. Оба фактора важны в равной мере, но если для зарождения и развития трещин усталости требуется значительное время, в течение которого они могут быть выявлены, то относительный сдвиг деталей в сопряжении колесных пар несравненно более опасен.

Несущая способность (прочность сопряжения при относительном сдвиге колес на осях и усталостная прочность осей в зонах напрессовок при их знакопеременном изгибе) соединений с натягом колесных пар зависит от **напряженного состояния напрессовок**, которое обуславливается: характером нагружения в условиях повышения осевых нагрузок; воздействием моментов, воспринимаемых осями, аксиальных сдвигающих усилий; контактным сжатием в зоне посадок колес на оси (в среднем по длине ступицы колеса – 50–100 МПа); силами трения вследствие явления сдвига при механической запрессовке; остаточными напряжениями от технологической обработки деталей.

Для повышения надежности ходовых частей подвижного состава в эксплуатации необходимо обеспечить снижение общего уровня напряженного состояния посадок колес на оси. Общее напряженное состояние оси в зоне напрессовки колеса оценивается величиной σ_z (эквивалентные напряжения), которая должна быть меньше допускаемого напряжения при простом растяжении $[\sigma]_p$. При снижении уровня напряженного состояния оси в зоне посадки повышается ее усталостная прочность и соответственно коэффициент запаса прочности $n = (\sigma_{z1} / \sigma_s) \geq [n]$, где $n = 2,0 \dots 2,3$ – допустимый запас прочности, принимаемый при расчетах подступичных частей осей колесных пар, $\sigma_{z1} = 130$ МПа – предел усталостной прочности материала натурной оси в зоне напрессовки при знакопеременном изгибе.

Напряженное состояние оси характеризуется не только радиальными σ_r и тангенциальными (окружными) σ_t , как это предполагается при решении задачи Гадолина-Ляме, но также и аксиальными нормальными напряжениями σ_z и соответствующими касательными τ . На усталостное разрушение осей в зонах напрессовок существенное влияние оказывает распределение контактного давления и напряжений от изгибающего момента, воспринимаемого осью колесной пары, по длине посадки ступицы колеса на ось.

Основными факторами, определяющими предел выносливости валов, являются: материал, концентрация напряжений от напрессованной охватывающей детали соединения, коррозия на поверхности вала (оси) при трении. При выборе материала охватываемой детали соединения с натягом помимо основных характеристик механической прочности ($\sigma_b, \sigma_t, \sigma_{-1}$) необходимо учитывать чувствительность к концентрации напряжений. Как известно, самый сильный концентратор находится как у сплошных, так и у полых осей на поверхности подступичной части оси колесной пары вблизи внутреннего торца ступицы колеса. При запрессовке на ось ступицы, длина которой значительно меньше оси, контактное давление, подсчитанное по Гадолину-Ляме, примерно соответствует давлению в середине длины посадки.

Расчетным путем установлено, что величина контактного давления p_k у торцов ступицы колеса в 1,75 раза больше, чем в середине. Исследованиями показано, что влияние диска и обода (при существующих размерах элементов колесных пар) на величину и распределение контактного давления сказывается незначительно. Напрессовка охватываемых деталей на оси (валы) вызывает резкое снижение сопротивления усталости. Например, предел выносливости осей колесных пар в зоне напрессовки колеса снижается примерно в 2,5 раза по сравнению с гладкой осью.

Наибольшая концентрация напряжений при изгибе возникает на сжатой стороне оси, и отсюда появляются первые усталостные трещины. Развитие трещин и окончательный излом валов происходит от напряжений растяжения. При переменном изгибе трещины могут возникать вблизи торцов в любом месте по периметру вала (оси).

Величина концентрации напряжений зависит от натяга в сопряжении, формы охватывающей детали соединения, состояния контактных поверхностей и способа обработки деталей посадки. Мелкие надрезы и риски, образующиеся на поверхности деталей после механической обработки, являются технологическими концентраторами напряжений. Концентрация происходит в основном по впадинам (чем глубже впадина и чем меньше ее радиус, тем больше концентрация напряжений и соответственно опасность возникновения трещин).

При изготовлении деталей резанием в местах обработки образуется поверхностный слой, отличающийся по своим свойствам от основного металла. Глубина этого слоя зависит от свойств материала, вида и режима обработки и колеблется от 0,05 до 0,6 мм, а иногда и больше. Состояние

поверхностного слоя характеризуется величиной и направлением неровностей, величиной и глубиной наклепа; величиной, знаком и глубиной залегания остаточных напряжений от обработки; структурой металла. Практика показывает, что при хорошем качестве основного металла (отсутствие пустот, внутренних трещин и др.) усталостное разрушение металлических конструкций начинается с поверхностных слоев металла. Поэтому состояние поверхностного слоя прямо влияет на усталостную прочность конструкций. Неровность поверхности обработанной детали характеризуется волнистостью и шероховатостью. *Волнистость* препятствует плотному прилеганию соединяемых элементов конструкции друг к другу. В местах контакта происходит интенсивное истирание (износ) материала, вследствие чего именно с этих мест начинаются усталостные разрушения. *Шероховатость* поверхности характеризует микрогеометрию детали и образуется как результат взаимодействия инструмента и обрабатываемого материала. Величина шероховатости определяется видом (точение, шлифование, накатка и пр.) и режимом обработки и зависит существенно от жесткости системы станок – приспособление – инструмент – деталь. Особенно опасными с точки зрения усталостной прочности являются следы обработки, расположенные перпендикулярно направлению действия внешних усилий. В этом случае риска на обработанной поверхности является концентратором напряжений, может стать местом возникновения трещины, приводящей к преждевременному разрушению конструкции.

Повышение чистоты поверхности, как правило, существенно увеличивает усталостную прочность. *Упрочнение (наклеп)* поверхностного слоя является следствием совместного воздействия упругопластических деформаций и местного нагрева, возникающих в зоне резания. Механические характеристики (предел прочности, упругости, текучести) и твердость наклепанного слоя выше, чем у основного металла. Вместе с тем уменьшается его пластичность, повышается хрупкость.

Наклеп поверхностного слоя характеризуется его величиной, степенью и глубиной. При обычных режимах резания глубина наклепа при обработке среднепрочных сталей не превышает 0,5–1,0 мм. Степень наклепа K определяется как отношение наибольшей величины наклепа H_{\max} поверхностного слоя к твердости H_0 основной массы металла, то есть $K = H_{\max} / H_0$. Для обычных условий резания $K = 1,5 \dots 2,0$. Чрезмерная величина наклепа может привести к разрушению поверхностного слоя, которое может послужить местом возникновения усталостной трещины. Упрочнение поверхностного слоя, при котором сохраняются его пластические свойства, способствует повышению усталостной прочности. Остаточные напряжения $\sigma_{\text{ост}}$, образующиеся в поверхностном слое, оказывают большое влияние на усталостную прочность. При внешних растягивающих нагрузках остаточные напряжения сжатия снижают суммарное напряженное состояние конструкции и тем самым повышают ее усталостную прочность. Выбор варианта и режи-

мов обработки оказывает наибольшее влияние на характер и величину напряжений. На образование $\sigma_{ост}$ существенно влияют, кроме режима обработки и геометрии режущего инструмента, условия охлаждения при резании. Величина остаточных напряжений часто соизмерима, а иногда и превосходит напряжения от внешних нагрузок, достигая напряжений предела прочности материала [например, при точении среднепрочной легированной стали они достигают 500–600 Па (50–60 кгс/мм²)].

Эффективным средством увеличения несущей способности валов (осей) в соединениях с гарантированным натягом является применение *поверхностного пластического деформирования (ППД)*, осуществляемого накаткой роликами. Пластическая деформация поверхностного слоя металла в холодном состоянии при помощи обкатки роликами и шариками, чеканки, ротационным упрочнителем и пр. называется *наклепом*. За счет наклепа повышается предел прочности и твердость слоя металла, а пластические свойства металла снижаются (повышается износостойкость поверхности). Происходит сдвиг отдельных частей кристаллов металла относительно друг друга по плоскостям скольжения, т. е. образуется слой металла с искаженной кристаллической решеткой, создающей шероховатость на поверхности сдвига, которая препятствует дальнейшему перемещению зерен (упрочняется поверхностный слой). Может наблюдаться и поворот одной ее части. Твердость наклепанной поверхности повышается более чем на 25 % при глубине наклепа 0,02–0,05 d в зависимости от чистоты обработки, где d – диаметр обрабатываемой оси.

В поверхностном слое остаются остаточные сжимающие напряжения, обуславливающие повышение усталостной прочности накатанной детали. Достигается высокое качество обработки поверхности при накатке, раскатке и обкатке шариками. Среднеарифметическое отклонение микронеровностей обработанной поверхности $R_a = 0,63 \dots 0,16$ мкм (шероховатость – не ниже VIII класса).

Наиболее эффективными способами поверхностного упрочнения металла являются чеканка и ротационное упрочнение: повышается глубина наклепа, увеличивается твердость поверхности и усталостная прочность деталей. Накатка осей колесных пар роликами увеличивает предел выносливости по излому более чем в 2 раза и осуществляется при нагрузке на ролик не более 24000⁺²⁰⁰⁰ Н, диаметр ролика – 150 мм. Большая деформирующая сила (нажатие на ролик) может вызвать разрушение поверхностного слоя металла.

Увеличение силы нажатия вызывает сначала снижение твердости накатанной поверхности вследствие разупрочнения под воздействием теплового потока, возникающего при пластических деформациях, а затем и разрушение поверхностного слоя. Степень деформаций металла увеличивается настолько, что его пластичность становится недостаточной для перераспределения напряжений, и он начинает отслаиваться в виде чешуек, теряя упругую устойчи-

вость. Это ограничивает силу нажатия роликов. Для осевой стали сила нажатия роликов, т/рол, может определяться как $P = 0,42\Delta K / [1 - K(0,16\Delta - 1)]$, где Δ – глубина наклепа, мм; $K = D_{\text{рол}} / D_{\text{оси}}$. При увеличении силы нажатия роликов изменяется сопротивление соединения с натягом осевому сдвигу, а также чистота и твердость накатанной поверхности.

Поверхностное пластическое деформирование расширяет возможность использования для валов (осей) высокопрочных легированных сталей. Если у вала из высокопрочной стали, не упрочненной ППД, образование микротрещин сопровождается быстрым их развитием и разрушением, то при наличии упрочнения образованные остаточные напряжения сжатия препятствуют развитию трещин, увеличивая тем самым долговечность вала (оси). ППД следует предусматривать для всех валов соединений с натягом, воспринимающих переменные нагрузки. С точки зрения повышения усталостной прочности осей в зонах напрессовок наиболее эффективным является применение покрытий в сочетании с упрочняющей накаткой. При этом за счет покрытия достигается более позднее возникновение усталостных трещин, а накатка оси замедляет их развитие.

Кроме общего напряженного состояния соединений и концентрации напряжений, в граничных сечениях посадок отмечается влияние коррозии на резкое снижение усталостной прочности осей в зонах напрессовок. Анализ неисправностей колесных пар вагонов в эксплуатации и результатов исследований показывает, что в соединениях с натягом возникают повреждения охватываемых деталей, обуславливаемые контактной коррозией, которые снижают предел выносливости осевой стали на 35–40 %. В настоящее время в подступичных частях осей колесных пар трещины усталости наиболее интенсивно появляются примерно через $(160...250) \cdot 10^6$ циклов нагружения, т. е. через 10–16 лет работы. В соединениях с натягом при циклическом изгибе оси (вала) возникают микроперемещения, вызываемые ее скольжением в ступице и деформацией поверхностей сопряжения. Местное проскальзывание создает условия для разрушения контактирующих поверхностей, сопряженных с натягом деталей. Контакт втулки и вала в соединениях с натягом при их относительных микроперемещениях приводит к коррозии трения и электроэрозионному разрушению, при этом указанные виды повреждений на поверхностях осей вызывают мелкие трещины усталости даже при небольших напряжениях в зоне сопряжения.

Трещины усталости от влияния концентрации напряжений и коррозии трения в зоне сопряжения деталей могут не развиваться на большую глубину и не вызвать полного разрушения. Поэтому для валов с напрессовками принято рассматривать несущие способности: до появления мелких трещин и до полного разрушения охватываемой детали соединения. Считают, что контактное давление в зоне сопряжения влияет на усталостную прочность

валов (осей) до определенного предельного значения 30–40 МПа, дальнейшее увеличение его не приводит к уменьшению предела выносливости. Это можно объяснить параллельным развитием трещин от концентрации напряжений и коррозии трения в зоне сопряжения. При меньших давлениях из-за большей свободы относительного скольжения коррозия трения интенсифицируется.

Увеличение контактного давления, способствуя повышению концентрации напряжений, одновременно обуславливает уменьшение проскальзывания и повреждения от контактной коррозии (*коррозии трения*). Мелкие повреждения поверхности оси колесной пары от коррозии трения в контакте с колесом являются дополнительными концентраторами напряжений. Концентрация происходит в основном по впадинам (углублениям на поверхности сопряжения оси от фреттинг-коррозии). Чем глубже коррозионное углубление и чем меньше его радиус, тем больше опасность повреждения оси (усталостного излома). Предполагается, что напряжения на дне коррозионной лунки, определенные путем приблизительного расчета, основанного на размерах ее, должны быть примерно в 4 раза выше номинального растягивающего напряжения. Углубления на поверхности осей служат началом образования усталостных трещин (их можно уподобить надрезам на поверхности деталей).

На развитие трещин большое влияние оказывает *адсорбционно-расклинивающий эффект*. Поверхностный слой обладает большой активностью (молекулярное притяжение) за счет свободных атомов твердого тела, поэтому поверхность последнего всегда покрыта тонкой пленкой из веществ, содержащихся в окружающей среде (влаги, смазки). Этот адсорбционный слой проникает в микротрещины и своим давлением стремится их расклинить. Интенсивность расклинивающего давления на стенки трещины у ее вершины может достигать значительной величины. Развитие же трещин до излома детали зависит, главным образом, от напряженного состояния детали, прочностных характеристик материала, чувствительности металла к концентрации напряжений, характера нагружения.

Таким образом, одной из причин неблагоприятного влияния контактирования деталей является *фреттинг-коррозия*, возникающая на поверхности сопряженных деталей в связи с их взаимным перемещением, обусловленным переменным нагружением. Фреттинг-коррозия является сложным физико-химическим процессом, происходящим при контактном трении, который сопровождается:

- механическим разрушением контактирующих поверхностей [образование мельчайших частиц металла за счет трения при микроперемещениях, последующее окисление образовавшихся частиц (более высокая твердость) и превращение их в твердый абразив, абразивный износ контактирующих поверхностей сопряжения с натягом деталей];

- электроэрозионным разрушением металлических поверхностей (перенос частиц металла от анода к катоду). При контактном трении возникает

термоэлектрический ток, который обуславливает при изменении величины контактного сопротивления электроэрозионное разрушение детали соединения, являющейся анодом. (Применяемые в зонах контакта металлические прокладки разрушаются, сохраняя поверхности несущих деталей.)

Факторы, влияющие на активность протекания фреттинг-коррозии:

- природа сопрягаемых материалов;
- состояние поверхностей контакта (с улучшением качества пригонки сопрягаемых поверхностей активность процессов фреттинг-коррозии при прочих равных условиях повышается);
- амплитуда и частота колебаний при микроперемещениях сопряженных поверхностей (износ поверхностей контакта при фреттинг-коррозии возрастает пропорционально увеличению амплитуде колебаний и имеет максимальное значение в области низких частот 10–25 Гц);
- воздействие среды на детали сопряжения;
- наличие пленки смазки (снижает величину коэффициента трения, разделяет сопряженные поверхности и тем самым снижает активность процессов фреттинг-коррозии; смазки, содержащие большое количество кислорода, увеличивают скорость протекания процессов);
- температура (с понижением температуры активность процессов фреттинг-коррозии возрастает; при температуре свыше +50 °С интенсивность процессов практически не изменяется).

Степень влияния перечисленных факторов может быть различной, она определяется материалом соприкасающихся деталей и условиями нагружения.

При развитии процесса контактной коррозии увеличивается число микроповреждений, глубина язвин, наступает существенное повреждение поверхностей с выделением окислов. Контактное трение вызывает образование красно-бурого порошка, который рассматривается как соединение железа с азотом и кислородом воздуха. Образовавшиеся окислы имеют твердость более высокую, чем основной металл сопряженных деталей, что обуславливает дополнительный абразивный износ поверхностей в зоне контакта. На состав продуктов износа большое влияние оказывают изменения окружающей среды и условия проведения экспериментов с соединениями. Целесообразно применение понизителей концентрации кислорода в смазке (например, олеиновой кислоты, являющейся абсорбентом кислорода и способной защитить металл от окисления). Отмечается, что применение репейного масла вместо касторового при запрессовке деталей понижает активность процессов разрушения поверхностей и повышает сопротивляемость фреттинг-коррозии в 1,5–2 раза.

Интенсивность контактной коррозии может оцениваться произведением площади сопряжения, пораженной коррозией, на глубину язвин. Интенсивность процесса пропорциональна удельному давлению в зоне контакта, количество разрушенного металла пропорционально числу циклов нагружения. Глубина язвин коррозии не зависит значительно от нагрузки в со-

единении деталей. Результатом повышения нагрузки является, главным образом, возрастание площади, пораженной коррозией.

Одним из методов борьбы с фреттинг-коррозией (в тех случаях, когда он применим) является устранение малых перемещений деталей путем увеличения нагрузки на сопряженные поверхности. Механическое разрушение контактирующих поверхностей при фреттинг-коррозии может иметь место и при сопряжении деталей из материалов, не способных к окислению. Это указывает на то, что определяющее значение для начала образования повреждений имеют физические факторы (природа сопрягаемых деталей, амплитуда колебаний, степень нагружения, температурные условия, наличие смазки в сопряжении). В то же время при наличии доступа воздуха в сопряжение процесс фреттинг-коррозии активизируется, что свидетельствует о влиянии химических факторов (наличие кислорода, влажность среды и пр.). Количественная и качественная оценки отмеченных факторов весьма различны. Например, величина микроперемещения, вызывающая фреттинг-коррозию, составляет: $2,5 \cdot 10^{-6}$ см – у Томплинсона; $2,5 \cdot 10^{-3}$ см – у Райта; $1 \cdot 10^{-1}$ см – у Веллера. При больших амплитудах помимо фреттинг-коррозии происходит обычный износ поверхностей сопряженных деталей.

Таким образом, фреттинг-коррозией называется разрушение металлов, вызываемое одновременным воздействием на них механического истирания другими металлическими или неметаллическими телами, химического и электрохимического коррозионных процессов. В литературе этот вид разрушения металлов называют: *контактная коррозия, фрикционная коррозия, окисление при трении, окислительный износ, разъедание при контакте.*

Можно отметить, что установка латунной свертной втулки в отверстие ступицы колеса раздвижной колесной пары с тангенциальным замком позволила избежать отрицательного влияния фреттинг-коррозии на ось в зоне сопряжения с колесом. При стендовых испытаниях (БелИИЖТ) раздвижной колесной пары с тангенциальным замком (В. И. Зайка) в условиях применения жидкой смазки зубчатого механизма замка наблюдался атомарный перенос металла втулки на поверхность подступичной части оси (омеднение поверхности).

Активность процессов фреттинг-коррозии можно снизить технологическими способами путем нанесения гальванических (кадмирование, цинкование, меднение, борирование, фосфатирование и пр.) покрытий на охватываемую деталь соединения с натягом и специальных лаковых покрытий.

Антикоррозионные покрытия из синтетических лаков-клеев являются весьма эффективными, обеспечивающими возможность создания наиболее прочной защитной пленки с хорошей адгезией к металлу. Указанные материалы длительное время сохраняют свою эластичность в условиях агрессивных сред и динамических нагрузок. Применение полимерных пленок позволяет предохранить сопрягаемые поверхности от контактной коррозии и износа механическим трением.

Экспериментальные соединения, покрытые пленкой эластомера ГЭН-150 толщиной 0,04–0,10 мм, собранные с нагревом охватывающей детали и с натягом 0,08 мм по пленке, испытывались на прочность покрытия при знакопеременных нагрузках на базе $100 \cdot 10^6$ циклов. Полимерные пленки повышают предел выносливости осей в зонах напрессовок на 40–75 %. Характерно, что с увеличением диаметра сопряжения образцов отмечается повышение эффективности полимерных покрытий. Указанная закономерность объясняется тем, что у валов (осей) большого диаметра снижение усталостной прочности при повреждениях поверхностей контакта фреттинг-коррозией значительно, а следовательно, в большей степени будет сказываться устранение коррозионных повреждений. Наличие пленки в зоне контакта сопряженных с натягом деталей исключает непосредственный контакт металлических поверхностей, а также возможность возникновения контактной коррозии, и способствует равномерному распределению напряжений в зоне высоких удельных давлений.

Так как сопряжение с натягом вызывает концентрацию давлений на концах охватывающей детали, то теоретически исследовался вопрос, как влияет защитная полимерная пленка на распределение контактного давления. Процесс течения полимера (при умеренных температурах у полимеров появляется необратимая деформация течения) в зоне сопряжения подчиняется закону Ньютона, поэтому твердый высокополимер можно рассматривать как вещество со свойствами вязкой жидкости. Полученные результаты позволили оценить происходящие процессы в соединениях с покрытиями из полимеров. Заключенный между посадочными поверхностями слой полимера перераспределяет контактные напряжения. Максимальные напряжения будут в средней части посадки, а минимальные – у краев ступицы (втулки) за счет перераспределения натяга.

Для предохранения посадочных поверхностей от коррозии трения при посадке с нагревом втулки на вал используют полимерные покрытия, в частности, герметизирующий эластомер ГЭН-150. Подступичные части осей тепловозов покрывают указанным эластомером, что повышает сопротивление усталости осей по трещинообразованию примерно на 30 % [26].

В процессе эксплуатации колесных пар может происходить нагрев оси примерно до 60...80 °С за счет тепла, выделяемого при трении в буксовых узлах вагонов; стойкость лаковых покрытий при температурах 50...80 °С оказывается достаточной. Долговечность экспериментальных соединений, испытанных в условиях подогрева, была значительно выше долговечности других образцов с лаковой пленкой, испытанных при том же уровне напряжений, но при нормальной температуре.

Повышение усталостной прочности осей (валов) в зонах напрессовок в результате применения полимерных тонкослойных покрытий может быть объяснено уменьшением интенсивности процессов фреттинг-коррозии на поверхностях контакта деталей, выравниванием контактных давлений в зо-

не сопряжения и снижением концентрации напряжений, защитой поверхности вала от кислорода воздуха. Применение упомянутых покрытий в соединениях колесных пар вагонов может быть допущено как дополнительное средство повышения эксплуатационной надежности ходовых частей. Однако эффективность любого покрытия в соединениях с натягом может быть достигнута лишь в условиях формирования, исключающих возможность повреждения контактирующих поверхностей сопрягаемых деталей.

Тонкослойные покрытия, наряду с повышением прочности сопряжения, снижают активность контактной коррозии в зонах напрессовок, задерживают возникновение усталостных трещин в подступичных частях соединений с натягом. В эксплуатации все еще продолжает оставаться достаточно высоким относительное число изломов осей колесных пар вагонов в подступичной части. При этом возникновение усталостных трещин в осях наблюдается большей частью по кольцевой поверхности на небольшом расстоянии от внутренней грани ступицы колеса.

Основным видом разрушения соединений с натягом колесных пар вагонов является *сдвиг колес на осях без проворачивания*. Кроме сдвигов колес в эксплуатации наблюдаются случаи ослабления прочности сопряжений. В практике и при исследованиях отмечается, что усилие распрессовки может составлять 75–80 % от конечного запрессовочного усилия при сборке соединений, т. е. коэффициенты относительной прочности ϕ соединений имеют значения меньше единицы. В условиях производства диаграммы запрессовки чувствительны к изменениям посадочных поверхностей, что отражается на величине ϕ . Из-за значительного рассеяния значений усилия запрессовки контроль качества сопряжений по индикаторным диаграммам механической запрессовки подвергается справедливому критическим замечаниям.

При распрессовке колесной пары необходимо упруго деформировать ось и ступицу колеса (величина пластических деформаций при сдвиге будет незначительна) и преодолеть силу трения в сопряжении. Так как коэффициент трения покоя всегда больше коэффициента трения движения, то величина силы трения в зоне сопряжения при относительном сдвиге деталей должна быть выше аналогичной силы трения при запрессовке. Уменьшение действительного натяга в сопряжении вследствие сглаживания гребешков микронеровностей поверхностей контакта при механической запрессовке приводит к уменьшению сил трения и упругих деформаций при относительном сдвиге деталей под нагрузкой. Разница усилий распрессовки и запрессовки будет определяться в большей мере степенью пластических деформаций поверхностей сопрягаемых с натягом деталей в процессе формирования посадок механической запрессовкой.

Наиболее вероятно появление повышенных пластических деформаций при грубой обработке посадочных поверхностей соединений, в то время как поверхности соединяемых с натягом деталей с малыми неровностями дают

более надежные соединения. При формировании посадок с натягом возможны *три случая относительной деформации сопрягаемых деталей*: возникающие при сборке соединений деформации охватываемой и охватывающей деталей остаются упругими; наряду с областью упругих деформаций появляется зона пластических в поверхностных слоях деталей; весь материал охватывающей детали пластически деформируется. При обычных условиях сборки, когда зона пластических деформаций не слишком велика, отмечается высокая прочность соединений. Объясняется это повышением величины коэффициента трения при упругопластическом контакте сопряженных поверхностей деталей. Зона пластических деформаций в указанных условиях распространяется несколько глубже, чем величина гребешков микронеровностей поверхностей контакта. Поэтому важно и необходимо определить характер деформирования соединяемых с натягом деталей, установить, при каком удельном давлении в сопряжении на контактной поверхности начинает течь металл и появляются пластические деформации. Наиболее удобна зависимость, основанная на теории наибольших касательных напряжений, которая дает результаты, совпадающие с данными теории и экспериментов. Для чисто упругих деформаций охватывающей детали необходимо, чтобы максимальные напряжения, возникающие на поверхности контакта в зоне посадки, не превышали предела текучести материала. Для расчета соединений в области упругопластических деформаций используют зависимости, выведенные из теории наибольшей потенциальной энергии деформаций. Однако разница между результатами расчетов не настолько велика, чтобы пользоваться этими громоздкими зависимостями.

Соединения с натягом колесных пар вагонов формируются в нормальных условиях при незначительных пластических деформациях на поверхностях сопрягаемых элементов и упругих деформациях, которые могут доходить до внешнего края ступицы колеса и на значительную глубину от поверхности оси. При завышенных натягах в сопряжении появляются значительные пластические деформации металла. Это обуславливает возможность высоких конечных усилий запрессовки и низких усилий сдвига. В практике формирования колесных пар, с целью получения правильной формы диаграммы запрессовки, допускают в отдельных случаях завышение величины натяга, что приводит к значительным пластическим деформациям в зоне контакта деталей и, следовательно, к снижению сопротивления колес аксиальному сдвигу на осях. В эксплуатации встречались колесные пары вагонов, усилия сдвига которых под воздействием статической нагрузки составляли лишь 30 т. Одной из причин наличия таких колесных пар является значительная пластическая деформация контактных поверхностей сопряженных элементов. Учитывая снижение прочности соединений с натягом на сдвиг при циклическом изгибе оси, можно заключить, что для разрушения соединений указанных колесных пар достаточно аксиального усилия сдвига около 15 т. По данным ВНИИЖТа боковые силы, действующие на колес-

ную пару со стороны контррельса, могут достигать: при скорости движения 72 км/ч – 15 т, при 104 км/ч – 19 т.

Для улучшения условий формирования соединений с гарантированным натягом и повышения исходной прочности посадок необходимо ограничивать деформирование сопрягаемых деталей в процессе сборки. Снижение исходной прочности сопряжения деталей с натягом может быть вызвано недостатками формирования, в частности, повреждением посадочных поверхностей при механической запрессовке. Опасность снижения несущей способности соединений с натягом колесных пар вагонов кроется, прежде всего, в самом технологическом процессе механической напрессовки колес на оси.

Возможность получения соединений высокой прочности (как усталостной, так и на относительный сдвиг) отмечается при условии применения рациональных технологических процессов обработки сопрягаемых поверхностей деталей. Максимальное сопротивление сдвигающим усилиям соединения с гарантированным натягом оказывают при высокой чистоте обработки и твердости посадочной поверхности, что примерно соответствует наивысшей интенсивности наклепа накатанной оси (вала). Объясняется это тем, что металл верхнего слоя оси, имеющий наивысшую твердость после накатки и находящийся в состоянии всестороннего неравномерного сжатия, оказывает сопротивление сдвигающим усилиям, так как на него в свою очередь оказывают влияние (давление) нижележащие, упругодеформированные слои металла. Рекомендуемая глубина наклепа – примерно 8 % от радиуса накатываемой оси, при этом твердость наклепанной части должна составлять 150–160 % от твердости исходного материала оси. Твердость материала осей и цельнокатаных колес колеблется в больших пределах: для осей – более 200, для колес – около 300 единиц по Бринеллю. Колебания твердости не могут не сказаться на величине усилия запрессовки и выборе величины натяга в сопряжении (с повышением твердости усилия запрессовки растут). Поэтому необходимо в колесных цехах вагоноремонтных предприятий иметь приборы для определения твердости материалов элементов колесных пар и производить сравнительные измерения твердости. С увеличением твердости натяг в сопряжении при формировании соединений необходимо назначать меньше. Применение наклепа в ступице колеса вызывает снижение сопротивления сдвигающим усилиям. Наибольшее сопротивление сдвигу оказывают посадочные поверхности отверстий колес, имеющие наименьшую глубину наклепа.

Напрессовку колес на оси производят в условиях сухого и полусухого трения, так как пленка смазки на поверхности контакта сопрягаемой оси при относительном смещении деталей, собираемых с натягом, прорывается, и посадочные поверхности в зоне контакта претерпевают пластическую деформацию. В условиях истирания сталь – по стали износ происходит со схватыванием трущихся поверхностей и образованием площадок молекулярного схватывания. Процесс схватывания идет тем активнее, чем чище и

мягче трущиеся поверхности. Износ схватыванием с интенсивностью изнашивания порядка 10–15 мкм/ч возникает при относительной скорости скольжения поверхностей контакта деталей около 1 м/с и удельном давлении, превышающем предел текучести материала. При относительно большей скорости скольжения (3–4 м/с) и больших контактных давлениях наступает тепловой износ с интенсивностью изнашивания 1–5 мкм/ч. Теплота трения способствует смещению поверхностных слоев в направлении скольжения. При повышении твердости трущихся поверхностей их износостойкость повышается, затрудняется процесс образования площадок молекулярного схватывания и, следовательно, снижается сопротивление сдвигающим усилиям. Можно сказать, что с повышением твердости трущейся поверхности увеличивается своего рода "жесткость" поверхности трения, повышается ее износостойкость, уменьшающая коэффициент трения скольжения.

Исходя из изложенного выше, можно объяснить возникновение колебаний давления ("стука") при запрессовке чисто обработанной колесной пары, если посадочные поверхности имеют высокую степень чистоты и наблюдается разжижение масла, применяемого для смазывания поверхностей контакта сопрягаемых колес с осью. Этот вид брака механической запрессовки хорошо известен производственникам. В данном случае сила запрессовки преодолевает молекулярные силы (наблюдаются толчки давления), возникающие при разрыве масляной пленки на площадках схватывания при трении в зоне контакта соединяемых элементов. Для обеспечения жидкостного трения толщина слоя смазки между сжатыми поверхностями, имеющими возможность относительного скольжения, должна быть не менее $h_{\min} > R_{z1} + R_{z2}$, где R_{z1} , R_{z2} – высота микронеровностей на сопрягаемых поверхностях охватываемой и охватывающей деталей соединения.

Нарушение жидкостного трения вызывает металлический контакт по выступам поверхностей (граничное и сухое трение) и интенсивный износ деталей. Поверхностные слои трущихся деталей изменяют свою структуру: под воздействием деформаций, приводящих к нагреву материалов; из-за физического и химического взаимодействий поверхностей со средой. *Основные причины износа:* а) усталость поверхностных слоев деталей при упругом деформировании, б) появление тонкого хрупкого поверхностного слоя при повторных пластических деформациях. Статическая прочность соединения еще не полностью характеризует надежность колесных пар вагонов в эксплуатации. В процессе работы может быть разрушено соединение с натягом, обладающее достаточно высокой статической прочностью.

Ряд факторов влияет на *прочность посадок при динамических нагрузках*. Исследованиями установлено, что пульсирующие с частотой 10 Гц осевые нагрузки не изменяют несущей способности посадок по сравнению со статическим нагружением соединений с натягом. При ударных нагрузках поведение соединений зависит от величины энергии удара. При энергии удара

меньше некоторого значения A_0 вал относительно втулки не смещается независимо от количества ударов. При некоторой энергии $A > A_0$ и неоднократных ударных нагрузках в стыке происходит накопление небольших локальных остаточных смещений внутри соединения, которое обеспечивает распрессовку аналогично тому, как это происходит при обычной механической разборке. Чем больше значение A , тем меньше необходимо ударов для полного сдвига вала относительно втулки. При некоторой энергии удара A_{\max} полное смещение сопрягаемых с натягом деталей соединения типа вал – втулка происходит за один удар.

Переменный изгиб вала в соединениях с натягом может существенно снижать прочность сопряжения в аксиальном направлении при положении осевой сдвигающей нагрузки. Круговой консольный изгиб вала (оси), закрепленного во втулке, приводит к снижению прочности на сдвиг посадки в тем большей степени, чем выше напряжение изгиба. Зависимость $P_c = f(\sigma_{\text{из}})$ имеет линейный характер, причем при определенных напряжениях изгиба $\sigma_{\text{из}}$ прочность соединения может быть равна нулю. В случае, когда прочность соединения достигает нулевого значения, вал "выползает" из втулки без приложения внешней осевой нагрузки только под воздействием переменного изгибающего момента (кругового консольного изгиба). Это явление именуется «самораспрессовкой». Основные причины снижения прочности при круговом изгибе оси – скольжение слоев вала в охватывающей детали на части контактирующих поверхностей и способность вала перемещаться во втулке без приложения внешних осевых нагрузок.

О наличии *скольжения* в посадках с натягом известно по проявлению коррозии трения, которая является, как показано выше, одной из причин снижения предела выносливости вала (оси) в зоне сопряжения. Скольжение является результатом образующейся разницы в удлинениях вала и втулки, которая превышает величину предварительного смещения. Она переводит процесс трения покоя в трение движения на некоторых участках поверхности сопряжения, вследствие чего суммарная прочность соединения снижается. С увеличением напряжений от изгиба вала площадки скольжения растут, вызывая соответствующее дальнейшее снижение прочности сопряжения из-за уменьшения площади неподвижного контакта соединенных с натягом деталей.

Изгиб оси вызывает перераспределение контактных давлений. Увеличение контактного давления на сжатой стороне соединения препятствует смещению оси внутрь втулки, а в растянутой зоне в этот же момент сопротивление перемещению оси из втулки наружу снижено из-за уменьшения контактного давления. Различные величины деформаций на противоположных сторонах соединения при круговом изгибе оси предполагают возникновение постоянной составляющей напряжений растяжения в оси, сумма ко-

торых по всему сечению и будет равна *выталкивающей силе*. Эта сила существует при всех значениях напряжений переменного изгиба, ее величина определяется [26] по формуле $P_{\text{выт}} \approx 0,015\pi d^2 l \sigma_{\text{из}}$.

Воздействие на соединении с натягом статического изгибающего момента в пределах упругих деформаций вала и втулки не вызывает снижения *прочности на сдвиг*. Исследования показали, что прочность на сдвиг при одновременном круговом изгибе оси может составить лишь 50 % от усилия осевого сдвига при статическом нагружении. В условиях эксплуатации всегда будут зоны проскальзывания посадочных поверхностей ступиц колес и осей в сопряжениях, вызываемые деформацией последних под нагрузкой. Таким образом, наблюдаются зоны проскальзывания (подвижного контакта) и зоны неподвижного контакта на участках подступичной части оси, где отсутствует относительное микроперемещение сопряженных с натягом элементов колесной пары. Одной из основных причин снижения прочности сопряжения соединений колесных пар вагонов в условиях циклического изгиба осей является уменьшение площади неподвижного контакта. С уменьшением деформаций посадочных поверхностей увеличиваются зоны неподвижного контакта. Поэтому для повышения эксплуатационной надежности колесных пар вагонов необходимо обеспечить снижение уровня относительных деформаций при напряжении посадочных поверхностей соединяемых элементов. С увеличением длины соединения влияние переменного изгиба на прочность уменьшается и при весьма длинных соединениях может стать незаметным.

Проблема повышения прочности и совершенствования сборки соединений с гарантированным натягом приобрела большую актуальность. В машиностроении для ответственных типов посадок допуск натяга может предусматриваться более узким, чем по стандарту, в результате чего повышается стабильность прочности соединений. Более узкий диапазон натягов обеспечивают селективным подбором сопрягаемых деталей и более точной их обработкой. До настоящего времени вопросы улучшения формирования колесных пар вагонов не разработаны в полной мере, поэтому в практике и при исследованиях наблюдаются случаи различной исходной прочности механических запрессовок при всех равных условиях сборки формируемых соединений с гарантированным натягом.

Цельнокатаные колеса изнашиваются по поверхности катания. Прокат на 1 мм происходит после пробега колесной пары у грузовых вагонов примерно 30 тыс. км, у пассажирских – 25 тыс. км. При большом прокате гребни могут опуститься настолько, что будут касаться болтов рельсовых креплений, вызывая их повреждения. Преждевременный **износ гребней** (тонкий гребень) является следствием нарушения нормальных условий работы колесных пар (например, наличие большой разности диаметров колес, наса-

женных на одной оси, перекося рамы тележки, большой зазор между буксами и направляющими боковин и др.). Изношенный гребень может служить причиной схода вагона с рельсов, особенно на противошерстных стрелках. Прокат и толщину гребня обода колеса измеряют а б с о л ю т н ы м ш а б л о н о м , а вертикальный подрез гребней ободов цельнокатаных колес – с п е ц и а л ь н ы м ш а б л о н о м . Колесная пара не допускается к работе под вагоном, если вертикальная грань движка шаблона соприкасается с подрезанной поверхностью гребня на высоте 18 мм или хотя бы в месте расположения риски независимо от фактической.

Колесные пары, имеющие прокат и износ гребня больше установленных норм, обтачивают по профилю катания на колесотокарных станках. Качество обточки проверяют м а к с и м а л ь н ы м ш а б л о н о м . Правильность обточки определяется плотностью прилегания шаблона к поверхности катания, гребню и внутренней грани. Допускаются просветы не более 1 мм по высоте гребня и не более 0,5 мм по поверхностям катания, гребня и внутренней грани. Нормируют наименьшую допускаемую толщину ободов колес колесных пар грузовых вагонов (при включении грузовых вагонов в пассажирские поезда прокат и толщина ободов должны соответствовать требованиям, предъявляемым к колесным парам пассажирских вагонов). Толщину ободов измеряют толщиномером; измерительную ножку прибора устанавливают на расстоянии 70 мм от внутренней грани обода.

Стертые плоские места на поверхности катания обода колеса, появляющиеся при неправильном торможении поезда, когда колесные пары перестают вращаться, скользят по рельсам, вызывая истирание металла обода в месте контакта с рельсом, называют **ползунами (выбоинами)**. Ползуны во время движения вагона вызывают удары, разрушительно действующие на рельсовый путь и ходовые части. При определении наибольшего проката на колесе глубина ползуна (выбоины) должна входить в общую величину проката. Причиной протертости оси в средней части колесной пары может быть неправильная сборка и регулировка рычажной передачи тормоза. Протертость оси на значительную глубину является опасным повреждением, могущим привести к ее излому.

Изгиб оси и сдвиг колес проверяют при помощи ш т а н г е н ц и р к у л я путем четырех измерений между внутренними гранями ободов колес в диаметрально противоположных точках. Не подлежит браковке колесная пара, у которой при таком измерении после обточки внутренних граней ободов будет выявлена разность расстояний не более 1 мм, а у не проходившей обточку – не более 2 мм (штангенциркуль подлежит периодической проверке, о чем должны быть проставлены соответствующие клейма). Если измерения равны и находятся в установленных пределах (допускаемый размер), то это указывает на отсутствие изогнутости оси или сдвига колес.

Основные неисправности колесных пар вагонов, обнаруживаемые при их эксплуатации и устраняемые при ремонте, приведены в таблице 2.9.

Т а б л и ц а 2.9 – Неисправности колесных пар вагонов

Наименование	Причины возникновения	Методы устранения
Прокат	Одновременное действие двух процессов: смятия от давления на площадке контакта и истирания металла под действием сил трения	Обточка по кругу катания на колесотокарном станке
Вертикальный подрез гребня	Смещение пятна контакта колеса и рельса в сторону фаски в основном из-за несимметричной посадки колес на ось, большой разницы диаметров колес по кругу катания, неправильной установки колесной пары в тележке или перекосе рамы тележки	Поверхность катания и гребень обтачивают на колесотокарном станке
Круговой наплыв металла на фаску, выходящий за наружную грань обода	Пластическая деформация верхних слоев металла обода, возникающая под действием нормальных и боковых усилий в кривых участках пути	Обточка на станке
Остроконечный накат гребня	Пластическая деформация поверхностных слоев металла гребня в сторону его вершины из-за высокого контактного давления и интенсивного трения в месте взаимодействия с головкой рельса	То же
Местное уширение обода колеса	Пластическая деформация металла под действием циклических нормальных сил вследствие наличия местного внутреннего дефекта (нематаллического включения, раковины, расслоения металла) на определенной глубине обода (допускается не более 5 мм)	Обточка на станке
Намины на шейке оси	Появление местных высоких контактных давлений на поверхности шейки из-за неправильной формы посадочных поверхностей колец подшипников	То же
Забойны и вмятины на оси	Пластическая деформация от удара тяжелым предметом по оси в процессе погрузки или выгрузки колесной пары или при ее ремонте	Ось бракуется
Разработка центрального отверстия оси	Смятие металла в процессе многократного небрежного закрепления колесной пары в центрах на станке при ее ремонте	Заварка с последующей механической обработкой
Повреждение резьбы на оси под гайку М110 и под болты шайбы	В эксплуатации или при монтаже – действие значительных осевых сил, вызывающих пластическую деформацию резьбы, а повреждение в виде местных вмятин – в результате случайных ударов тяжелым предметом	Зачистка, обработка специальным инструментом для калибровки, восстановление наплавкой

Окончание таблицы 2.9

Наименование	Причины возникновения	Методы устранения
Кольцевые выработки на поверхности катания колес	Образуются главным образом по краям зоны контакта поверхности катания с тормозной колодкой. Объясняются неодинаковыми термическими условиями работы поверхностных слоев металла колеса и композиционной колодки по ширине зоны контакта и воздействием абразивных частиц	Обработка по кругу катания на станке
Потертость на средней части оси	Трение вертикальных рычагов и горизонтальных тяг неправильно собранной рычажной передачи тормоза	Ось бракуется при глубине потертости более 2,5 мм на станке
Ползун	Заклинивание колесных пар тормозными колодками. Причины заклинивания – неисправности тормозных приборов, неправильное управление тормозами	Обточка по кругу катания
Навар	Нарушение процесса торможения, результатом которого является проскальзывание колеса по рельсу в течение очень коротких промежутков времени с перемещением на 20–30 мм	То же
Термические поперечные трещины в ободе колеса	Чередование интенсивного нагрева поверхности катания колеса при торможении и последующем охлаждении	Колесные пары изымаются из эксплуатации
Трещины в подступичной части оси	Продолжительное действие на оси больших внешних сил, вызывающих циклические знакопеременные напряжения изгиба	Ось бракуется
Трещины в осях колесных пар	Многократное повторение циклических нагрузок, действующих на колесную пару, и наличие на оси какого-либо концентратора напряжений	То же
Выщербины в местах усталостных трещин обода колеса	Усталостное разрушение поверхностных слоев металла колес под действием многократно повторяющихся контактных нагрузок	Обработка на станке, если их глубина не более 50 мм у колесных пар грузовых вагонов
Откол наружной грани обода колеса	Усталостные процессы от действия нормальных и касательных сил. Трещины образуются на глубине 8–10 мм при наличии местного концентратора напряжений в виде раковины, неметаллического включения	Не допускаются отколы глубиной 10 мм или если ширина оставшейся части обода колеса в месте откола менее 120 мм
Откол кругового наплыва обода колеса	То же	То же
Излом колеса	Развитие усталостных трещин либо у ступицы, либо у обода	Колесо бракуется
Излом оси	Развитие усталостных трещин в шейке, подступичной, предподступичной и средней частях	Ось бракуется

Производственный участок по ремонту колесных пар с подшипниками качения предназначен: для выполнения планового ремонта колесных пар без смены элементов, включая технологические операции очистки, обмывки; освидетельствования, дефектоскопии, обточки колес по кругу катания, шлифовки и накатки шеек осей, окраски колесных пар и сушки после ремонта. Производственная мощность вагонного депо должна обеспечить ремонт колесных пар, поступающих из-под вагонов деповского ремонта, а также пунктов технического обслуживания (с текущего отцепочного ремонта вагонов), прикрепленных к депо. Проверка технического состояния колесных пар вагонов включает в себя кроме осмотра в эксплуатации **освидетельствование** в вагонном депо. Различают обыкновенное и полное освидетельствование колесных пар.

Текущий ремонт (обыкновенное освидетельствование) выполняется при каждой подкатке колесных пар под вагоны при плановых и текущих ремонтах последних, а также при проведении профилактических мероприятий по отдельным указаниям железнодорожных администрации или владельцев инфраструктуры. Средний ремонт (полное освидетельствование) колесных пар производят: после аварии и крушения у сошедших вагонов; после схода вагона с рельсов (колесные пары сошедшей тележки); через две обточки поверхности катания; при демонтаже буксовых узлов с последующим их ремонтом; при наличии повреждений на поверхности катания колесной пары; при отсутствии знаков и клейм о последнем среднем ремонте или невозможности их прочитать. Капитальный ремонт колесных пар производят: при необходимости замены одного или двух колёс; признаке сдвига на оси одного или двух колёс; признаке ослабления пресовой посадки на оси одного или двух колёс; несоответствии расстояния между внутренними боковыми поверхностями ободьев колёс; увеличенной разности расстояний от торцов предподступичных частей до внутренних боковых поверхностей ободьев колёс; необходимости распрессовки для восстановления на шейке РУ1 резьбы под гайку торцевую и болтов крепления стопорной планки; отсутствии или невозможности прочтения знаков и клейм, относящихся к изготовлению или последнему капитальному ремонту оси.

Последовательность технологических операций при ремонте колесных пар в грузовом вагонном депо на специализированном участке представлена на рисунках 2.11–2.14.



Рисунок 2.11 – Схемы технологических процессов ремонта колесной пары с обточкой поверхности катания колес:

а – с демонтированными буксами на роликовых подшипниках; *б* – с недемонтированными буксами на роликовых подшипниках; 1, 2а – обточка поверхности катания колес; 2 – обточка или зачистка шлифовальной шкуркой шеек и предподступичных частей оси; 3 – проверка дефектоскопом шеек, средней и предподступичных частей оси; 4, 5а – обмер элементов, приемка и клеймение колесной пары; 5 – окраска и сушка колесной пары; 1а – подготовка колесной пары к ремонту; 3а – проверка дефектоскопом средней части оси; 4а – промежуточная ревизия букс с роликовыми подшипниками

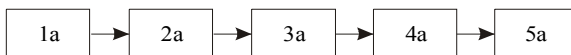


Рисунок 2.12 – Схема технологического процесса ремонта колесной пары с обточкой и накаткой шеек для роликовых подшипников:

1а – подготовка колесной пары к ремонту; 2а – обточка, зачистка шлифовальной шкуркой или накатка шеек и предподступичных частей оси; 3а – проверка дефектоскопом шеек, средней и предподступичных частей оси; 4а – обмер элементов, приемка и клеймение колесной пары; 5а – монтаж и ревизия букс с роликовыми подшипниками

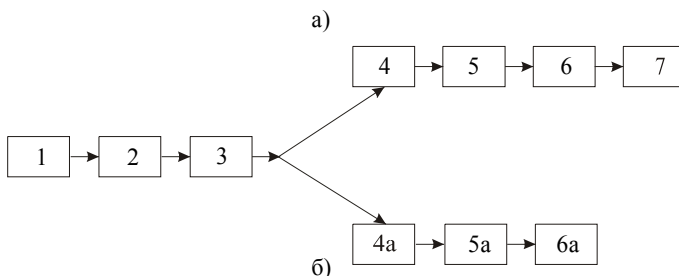


Рисунок 2.13 – Схема технологического процесса ремонта колесной пары с наплавкой изношенных (подрезанных) гребней цельнокатаных колес:

a – для колесных пар с демонтированными буксами на роликовых подшипниках; *б* – для колесных пар с роликовыми подшипниками без демонтажа букс: 1 – предварительная обточка поверхностей катания и ободов колес; 2 – наплавка гребней; 3 – окончательная обточка колес; 4 – обточка или зачистка шлифовальной шкуркой и накатка шеек и предподступичных частей оси; 4а – проверка дефектоскопом средней части оси; 5 – проверка дефектоскопом шеек, средней и предподступичных частей оси; 5а, 6 – обмер элементов, приемка и клеймение колесной пары; 6а, 7 – окраска и сушка колесной пары



Рисунок 2.14 – Схема технологического процесса ремонта колесных пар с опробованием колес на сдвиг:

1 – опробование колес на сдвиг прессом; 2 – проверка дефектоскопом шеек, средней и предподступичных частей оси; 3 – обмер элементов, приемка и клеймение колесной пары; 4 – окраска и сушка колесной пары

От компоновки колесотокарных участков зависит направление потока колесных пар и их элементов в процессе освидетельствования, ремонта и формирования. Большое разнообразие реальных технологических планировок этих участков образует различные **формы маршрутных линий** движения колесных пар в процессе их ремонта и формирования, среди которых встречаются прямолинейные, зигзагообразные, петлевые, перекрестные и др. В реальных условиях обеспечить оптимальную планировку оборудования не всегда представляется возможным. Однако необходимо стремиться к достижению наибольшей прямоточности и наимень-

шего грузооборота колесных пар и их элементов в процессе ремонта и формирования.

Профиль поверхности катания, как уже было отмечено выше, следует обтачивать с минимальным съемом металла. Принимают следующий **порядок выполнения технологических операций**: обмер диаметров обоих колес по кругу катания; снятие контрольной стружки с поверхности катания колеса меньшего диаметра и определение наибольшего диаметра, с которым может быть обточена колесная пара; черновая обточка поверхности катания колес с учетом припуска 1–2 мм на чистовую обработку; чистовая обточка по поверхности катания колес. Все технологические операции по механической обработке вагонных колесных пар и их элементов производят резцами различных геометрических форм, размеров, характеристик твердых сплавов. Режущий инструмент затачивают на станках шлифовальными кругами из карборунда при непрерывном охлаждении (например, 5–10%-ным раствором соды в воде). При заточке резцов без охлаждения перегрев их не допускается. Заточенные резцы рекомендуется осматривать через лупу для выявления трещин в пластинах, проверять размеры и углы, доводить режущие кромки на вращающемся чугунном диске (настой карбида бора и др.). Заправку резцов осуществляют централизованным порядком по шаблонам с соблюдением рациональной геометрии резца, предусмотренной картой технологического процесса механической обработки детали. В инструментальном отделении должен быть запас абразивного инструмента (круги для заточки резцов, имеющих пластинки из твердого сплава, например, "Экстра", "Карборунд" зернистостью 120–150 и др.; круги для заточки резцов из быстрорежущей стали и пр.); шарошки для заправки абразивных кругов.

В процессе *обточки* колесных пар вагонов проверяют шаблоном правильность выполнения профиля поверхности катания и фаски наружной грани, а также расстояние между внутренними гранями колес. Фаска наружной грани обода колеса должна начинаться на расстоянии 12 мм от внутренней грани и выполняться под углом 45°. Для экономии металла старогодных колес при обточке разрешается оставлять на обточенном гребне черновины глубиной не более 2 мм, расположенные от вершины гребня на расстоянии от 10 до 18 мм, а также черновины на поверхности катания (остаточный прокат) глубиной до 0,5 мм. На внутренней грани обода черновины допускаются глубиной не более 1 мм при условии, что расстояние между внутренними гранями колес в местах нахождения черновин не выходит из допускаемых пределов. Разрешается устранять круговой наплыв металла, а также местный откол кругового наплыва (без трещин, идущих вглубь обода) восстановлением фаски на колесотокарном станке без обточки всей поверхности катания.

Для обработанной колесной пары установлен 3-й класс шероховатости поверхности по внутреннему и наружному торцам ступицы, внутренней грани обода, поверхности катания, наружной фаске поверхности катания и гребню. Для симметричного расположения колес и их кругов катания перед обточкой необходимо проверить расстояние от середины оси до внутренних граней колес. Разница этих расстояний у колесных пар, прошедших обточку по профилю, должна быть не более 3 мм (середины оси определяют по имеющемуся керну, поставленному при запрессовке колесной пары на гидравлическом прессе). Симметричное расположение колес на оси необходимо для правильной работы колесной пары под вагоном, в противном случае износ колес и особенно гребней (подрез) будет происходить неравномерно. Правильно обточенная колесная пара при проверке ее в центрах шеечно-накатного станка не должна давать биение колес более 1 мм.

Сварочные и наплавочные работы при ремонте колесных пар выполняют в соответствии с руководящими материалами по ремонту вагонов. При ремонте колесных пар вагонов разрешается: наплавка изношенных гребней цельнокатаных колес на автоматических и полуавтоматических установках; заварка вручную разработанных центровых отверстий и отверстий для болтов стопорных планок и болтов крепления шайбы.

Режимы сварочных работ при наплавке гребней колесных пар вагонов приведены в таблице 2.10. Наплавку изношенных гребней разрешается производить у цельнокатаных колес на сварочных автоматах или полуавтоматах под слоем флюса электродной проволокой СВ-08ГА или СВ-10ГА диаметром 2 мм. Ручная наплавка запрещается.

Т а б л и ц а 2.10 – Режимы сварки при наплавке гребней колесных пар вагонов

Наименование	Режимы сварки на дуге	
	первой	второй
Скорость подачи электродной проволоки диаметром 2 мм, м/ч	120	198
Ток, А	160–200	260–300
Напряжение дуги, В	34–38	34–38
Скорость наплавки, м/ч	20	–
Вылет электрода, мм	25–27	25–27

Использование проволоки СВ-08ГА обеспечивает твердость наплавленного металла около 200 НВ. Применение ржавой, загрязненной проволоки, а также неизвестной марки не допускается. Марка сварочной проволоки определяется по бирке на бухте проволоки или химическим анализом ее. Флюс применяют стандартной марки АН-348А или ОСЦ-45 мелкой грануляции с величиной зерен от 0,25 до 1,6 мм. Применение отсыревшего флюса не допускается.

Гребень и поверхность катания цельнокатаного колеса перед наплавкой тщательно очищают и осматривают. При обнаружении плен, трещин, надрывов и других дефектов наплавка не разрешается. Работы выполняют в закрытом помещении при температуре не ниже +5 °С. Изношенные гребни наплавляются одновременно двумя электродами на постоянном токе при прямой полярности: "+" – на колесной паре и "-" – на электродах. Перед наплавкой колесную пару устанавливают на стенде в вертикальном положении вверх колесом, подлежащим наплавке. Места наплавки следует очистить до металлического блеска. Electroды устанавливают наклонно под углом 20–30° к вертикали. Расстояние между первым и вторым электродами составляет 50 мм, а смещение второго электрода по отношению к первому – 1,5–2 мм.

После установки электродов открывают заслонку и засыпают первый электрод флюсом. Процесс наплавки начинают одной дугой (первой). После наплавки участка длиной 50 мм зажимают подающий механизм второй дуги и начинают процесс наплавки двумя дугами. Раздельное включение дуг необходимо для того, чтобы исключить непосредственное действие второй, более мощной, дуги на основной металл. Наплавку подрезанного гребня следует производить не менее чем в четыре прохода, при этом три слоя валиков накладывают по гребню, а четвертый, отжигающий, – по наплавке. Наложение отжигающего валика выполняют одной дугой на режиме второй дуги. По окончании наплавки гребня, удаления флюса и шлаковой корки наплавленный металл и весь гребень необходимо тщательно осмотреть и равномерно охладить в цехе до температуры окружающей среды. Наплавленные вагонные колесные пары надо выкатывать из помещений в холодное время только после полной механической обработки и не менее чем через 20 ч после наплавки гребня.

Заварку центровых отверстий и отверстий для крепежных болтов производят электросваркой электродами марки Э4. Перед заваркой отверстия тщательно очищают от ржавчины, грязи и масла. Заварку отверстий осуществляют наложением круговых валиков электродом, наклоненным под углом 30–40° к стенке. После заварки засверливают новые отверстия и нарезают резьбу.

Для предохранения от коррозии и улучшения условий для определения неисправностей в эксплуатации каждая вагонная колесная пара, принятая после освидетельствования, должна быть окрашена. Подлежат окраске: средняя часть оси; колеса (окраска ободов запрещена); места соединения лабиринтного буксового кольца с предподступичной частью, а также предподступичная часть между лабиринтным кольцом и колесом у колесных пар для роликовых подшипников после монтажа букс. Особенно тщательно необходимо выполнять окраску оси в местах ее соединения со ступицей коле-

са с внутренней стороны колесной пары. Дополнительными признаками ослабления насадки ступицы колеса являются выступление ржавчины или масла у ступицы, трещина окраски по всему периметру в соединении оси со ступицей. Для покрытия элементов колесных пар используют краску черного цвета на олифе, лак или эмаль марок ХВ-1100, ХВ-10, ХС-010, ХС-119.

Вид выполняемых работ и форма организации производства оказывают существенное влияние на **рациональную планировку рабочего места**, которая должна удовлетворять следующим требованиям: в процессе работы рабочий не должен совершать лишних движений; не должно быть потерь времени и излишней утомляемости рабочего, вызываемых нерациональным взаимным расположением всех элементов, входящих в состав рабочего места; рабочее место должно быть оборудовано с учетом обеспечения требований охраны труда; на рабочем месте должны быть обеспечены благоприятные санитарно-технические условия в отношении света, тепла, чистоты и т. д. Размещение оборудования должно обеспечивать: максимальную прямоточность производственного процесса; непрерывность в движении; наименьший грузооборот колесных пар и их элементов в процессе ремонта и формирования; рациональное использование площади и объема здания; удобство разборки оборудования при ремонте; удобство подачи инструментов и вспомогательных материалов; соблюдение правил техники безопасности.

Контроль при ремонте следует подвергать: оси колесных пар перед напрессовкой на них колес; шейки, предподступичные и средние части осей при полном освидетельствовании, а также при каждой подкатке колесной пары под вагон; подступичные части оси, скрытые ступицами колес; напругенные части цельнокатаных колес (диск, обод). **Магнитный контроль осей** осуществляют неразъемным и разъемным дефектоскопами для выявления поверхностных дефектов, **ультразвуковой контроль осей** – для выявления внешних и внутренних (скрытых) дефектов осей колесных пар и поперечных трещин в них. Подробно методы и приборы неразрушающего контроля в технологии ремонта вагонов освещены в специальной технической литературе. Ниже приведены общие положения по организации магнитной и звуковой дефектоскопии колесных пар вагонов на специализированном ремонтном участке грузового вагонного депо.

При «мокром» способе магнитного контроля осей колесных пар (на специально выделенной и оборудованной площадке колесотокарного участка) скопление магнитного порошка на поверхности обработанной оси (намагниченные поверхности поливают смесью железного порошка с трансформаторным маслом) в виде линий указывает на наличие трещины в месте скопления; фиксируется визуально дефектоскопистом. Ультразвуковой контроль основан на свойстве ультразвуковых колебаний отражаться от трещин, ра-

ковин, шлаковых включений; наблюдается отраженный сигнал на экране электронно-лучевой трубки дефектоскопа.

Совместное использование отдельных единиц технологического оборудования дает возможность создавать поточные линии для ремонта колесных пар вагонов. На предприятиях железнодорожного транспорта организуют **ремонтные комплексы** [28]. Например, в состав комплекса, разработанного с участием известной фирмы «Рафамет», входят: моечная машина с системой оборотного водоснабжения для колесных пар рельсового транспорта; стенд измерения колесных пар вагонов; пресс для монтажа и демонтажа буксовых узлов роликовых подшипников колесных пар; оборудование для транспортировки колесных пар и их элементов: поворотные круги, накопители, выталкиватели, тележки поперечного перемещения колесных пар.

Моечная машина МЦС-112 предназначена для очистки колесных пар от грязи и лакокрасочных покрытий. Обмывку осуществляют водой под давлением, грязь с колесных пар удаляют с помощью вращающихся и качающихся сопел. Среднюю часть оси, подвергающуюся дефектоскопии, очищают стальными вращающимися щетками, совершающими возвратно-поступательное движение вдоль оси вращающейся колесной пары. В моечную камеру можно подавать колесные пары с роликовыми буксами и без них. Водяные резервуары могут быть установлены непосредственно у машины или за пределами производственного помещения. Колесные пары поступают в машину по рельсовому пути. Длительность обмыва – в пределах 6 мин в зависимости от степени загрязнения колесной пары.

Подача насоса – 26 м³/ч. По истечении установленного времени обмывки колесной пары все агрегаты отключаются, двери камеры поднимаются, а домкрат опускается. В конце хода домкрата включается выталкиватель – и колесная пара выкатывается из машины в сторону, противоположную подводящему пути. Общая установочная мощность электродвигателей моечной машины – 98 кВт. Камера имеет высоту 2850, ширину – 1820, длину – 3650 мм. Габаритные размеры станции очистки воды – 3833 × 3120 × 5400 мм.

Технологический процесс ремонта колесных пар начинается с определения их размерной характеристики, по которой устанавливается эффективный метод дальнейшей обработки. Эта операция выполняется на специальном *измерительном стенде ВЦС-112*. Применение стенда обеспечивает значительную экономию стали при обточке для восстановления профиля колес вагонов за счет автоматического определения оптимальных глубины и скорости резания. Стенд представляет собой современную измерительную установку с автоматическим циклом и записью результатов на регистрирующую ленту. Он выполнен в виде порталной конструкции, позволяющей загружать колесные пары, которые поступают по подводящему пути, и удалять их по продолжению этого пути с другой стороны стенда. На плите основания стенда установлены колонны, соединен-

ные поперечной балкой. В центре основания перпендикулярно оси подводящего пути помещен подъемник колесной пары с фрикционным механизмом для ее вращения и с приводом от гидравлического сервомотора. Колесная пара поднимается для установки на стенде и в этом положении вращается, что необходимо при измерениях. Движение подъемника контролируется центрирующим механизмом, рабочее движение которого осуществляется при помощи двух гидравлических сервомоторов. В качестве базовых поверхностей для симметричной установки колесной пары используют торцы оси.

Рельсовая система транспортирования колесных пар на технологической линии ремонта выполняет несколько функций: подачу колесных пар на рабочее место, перемещение их и накопление; перемену направления движения, отбор колесных пар по определенным параметрам (селекция). В комплект транспортных средств (устройство) входят: стопорно-подающие механизмы – выталкиватели, накопители (компенсационные сборники), поворотные платформы, тележки поперечной транспортировки колесных пар, пути селекционного отбора колесных пар. При соответствующей компоновке указанных устройств можно получить транспортную систему, которая впишется в любую технологическую линию ремонта колесных пар вагона.

Стопорно-подающий механизм (*выталкиватель*) применяется для индивидуального обслуживания рабочих мест технологической ремонтной линии и является основным устройством в системе транспортирования. Этот механизм задерживает катящуюся по рельсам колесную пару, а затем, в нужный момент, придает ей начальное ускорение, необходимое для поступления к следующему рабочему месту или к другому транспортному оборудованию поточной линии. Выталкиватель ТР состоит из неподвижной рамы и подвижной, перемещающейся в вертикальном направлении и поднимающей колесную пару. После подъема колесная пара выкатывается из устройства по наклонным дорожкам, развивая необходимую скорость, обеспечивающую ей перемещение до следующей позиции. Выталкиватель работает автоматически по заданной программе, приводится в движение пневмоцилиндрами, надежен в эксплуатации, незначительно выступает над уровнем головки рельса. Номинальная грузоподъемность – 2000 кг, высота подъема – до 100 мм, длительность цикла работы – 8 с.

Межоперационные запасы (*склады-накопители*) необходимы на технологических линиях ремонта колесных пар для устранения влияния различной производительности отдельных единиц оборудования. Их создают, как правило, перед рабочими местами и за ними. Работа накопителя заключается в том, что он временно задерживает катящиеся колесные пары, а затем снова направляет к последующим рабочим местам. Накопитель состоит из выталкивателя ТР и модульных рам с рельсовыми путями, оснащенными

стопорными башмаками. Рамы можно соединять для получения требуемой вместимости. Накопитель устанавливается на фундаменте с уклоном 2/100, что обеспечивает перемещение колесных пар, оснащен упорами, останавливающими колесную пару. Освобождение первого места выталкивателем ТР вызывает отвод упоров, задерживающих следующую колесную пару. Таким образом, все колесные пары, находящиеся в накопителе, перемещаются поочередно на одно место вперед. Накопитель вмещает до 6 колесных пар, управление осуществляется с помощью общей системы поточной линии или индивидуально.

Поворотная платформа ТО задерживает колесную пару, поворачивает ее в требуемом направлении для дальнейшего движения, выкатывает колесную пару на путь накопления или на последующее рабочее место. Платформа через опорные ролики устанавливается на каркас сварной конструкции из металлопроката, приводится во вращение от отдельного электродвигателя, оснащена выталкивателем ТР. Поступившая на платформу колесная пара задерживается стопорно-подающим механизмом. По команде включается механизм поворота, и платформа с колесной парой поворачивается до положения, в котором ее рельсовый путь становится соосным с тем, куда необходимо подать колесную пару; механизм остановки платформы включает выталкиватель, удаляющий колесную пару, после чего платформа возвращается в исходное положение. Цикл работы платформы выполняется автоматически, угол поворота платформы составляет 270° , из них 90° – влево и 180° – вправо. На 90° платформа поворачивается за 12 с, мощность приводного электродвигателя – 0,8 кВт.

Для поперечного перемещения колесных пар относительно продольного пути цеха или накопителя применяют *транспортные тележки ТВ*. Тележка может перемещать и выгружать колесные пары на выбранный путь; совместно с комплектами транспортных устройств может выполнять функции распределения потока колесных пар в системе технологической линии; пригодна также для межцехового транспорта, особенно в мертвых зонах мостовых кранов и других грузоподъемных устройств. Состоит тележка ТВ из платформы с четырьмя опорными колесами, которые перемещаются по специальному пути; тяговый механизм передвижения приводится электродвигателем с редуктором; на тележке смонтирован пневмоцилиндр для удаления колесной пары. Управление движением тележки может быть автоматизировано при ее работе по заданной программе. Ширина колеи тележки – 1000 мм, скорость передвижения – 0,25 м/с, общая мощность электродвигателей – 2,7 кВт.

Описанные транспортные средства можно встраивать в автоматизированные поточные линии ремонта колесных пар с рациональным использованием производственных площадей вагоноремонтных предприятий.

Сложившееся экономическое положение железных дорог СНГ, в том числе и Беларуси, привело к необходимости выполнения ремонта колесных пар вагонов со сменой элементов в условиях дорог. Для механической запрессовки колес на оси предусматривают **три основные технологические операции**: подготовительную, формирования посадок, контроля качества запрессовки. Подготовительная операция заключается в подборе цельнокатаных колес по кругу катания, толщине обода и величине натяга. Разница диаметров по кругу катания новых цельнокатаных колес, насаженных на одну ось, допускается не более 1 мм, для старогодных – не более 5 мм. По толщине обода с разностью более 5 мм напрессовка на одну ось цельнокатаных колес не допускается. Размеры натягов для достижения требуемых запрессовочных усилий устанавливаются предприятиями в пределах 0,10–0,25 мм [22].

Подбор по величине натяга формируемых соединений осуществляют двумя методами в зависимости от имеющегося технологического оборудования и принятой организации производства: *селикативной подборкой*, при которой предусматривают выбор колес по фактическим размерам посадочных поверхностей (необходим большой запас обработанных элементов); *приточкой колес к осям*. Разрешается применять как систему вала, так и систему отверстия при механической обработке осей и колес под посадочный размер для обеспечения заданного натяга в сопряжении. В первом случае предельные отклонения посадочной поверхности подступичной части оси остаются постоянными, а посадка достигается соответствующими изменениями предельных отклонений отверстия ступицы колеса. Во втором случае необходимый натяг обеспечивают изменениями предельных размеров оси. Наибольшее распространение имеет система приточки осей к колесам, так как в этом случае значительно проще добиться точного размера подступичной части оси с различными припусками для получения требуемого натяга при запрессовке. Кроме того, облегчается замер диаметра посадочной поверхности оси, повышается точность замера по сравнению с замером диаметра отверстия ступицы колеса.

Следует учитывать, что основным, наиболее важным и наиболее напряженным элементом колесной пары является ось, поэтому сохранение размера ее подступичной части связано с продлением срока службы оси, тем более, что допуски в подступичной части невелики. Наименьшие допускаемые диаметры подступичной части осей колесных пар при выпуске из ремонта – 180–182 мм для различных типов вагонов. Для продления срока службы осей следует осторожно относиться к обработке подступичных частей осей и шире использовать приточку цельнокатаных колес к осям. При ремонте колесных пар вагонов со сменой элементов необходимо новые оси с максимальными размерами подступичных частей (194^{+2} мм – для сплошных осей, 202^{+2} мм – для полых) притачивать к колесам, быв-

шим в эксплуатации и имеющим увеличенный размер отверстия ступицы, а цельнокатаные колеса – растачивать с учетом их запрессовки на старогодные оси с меньшими размерами подступичных частей, чем новые. Решается заменять неудовлетворительные или неисправные элементы как новыми, так и старогодными. В случае использования старогодных осей последние после выпрессовки следует обтачивать в подступичной части с последующей накаткой роликами для обеспечения установленной шероховатости поверхности и соблюдения геометрических размеров, а также для удаления следов коррозии, наминов, рисок и других дефектов на поверхности.

При обработке осей для создания натяга в сопряжении с колесом подступичная часть должна иметь строго цилиндрическую форму. Допускаемые отклонения макрогеометрии подступичной части оси: овальность – не более 0,05 мм; волнистость – не более 0,02 мм; конусность – не более 0,1 мм при условии, что больший диаметр обращен к середине оси. Для колес допускаемые отклонения аналогичны. Шероховатость при обработке поверхностей должна быть не ниже: подступичной части оси после обточки под накатку роликами – 5-го класса шероховатости поверхности по ГОСТ 2789, после накатки – 7-го; отверстия ступицы колеса после расточки – 5-го класса. Другие виды обработки отверстий ступиц могут быть допущены в каждом отдельном случае с разрешения МПС. Диаметр посадочной поверхности ступицы после окончательной приточки по оси колеса проверяется индикаторным нутромером, контролируется по шаблону правильность округления наружных и внутренних кромок отверстия ступицы радиусом 4–5 мм.

Запрессовка колес на оси при формировании колесных пар вагонов производится на гидравлических прессах, например Краматорского и Одесского машиностроительных заводов и др., оборудованных манометрами, контрольными и самопишущими приборами (индикаторами) для записи диаграмм запрессовок. В начале формирования соединения с натягом аксиальные запрессовочные усилия растут за счет сминания «гребешков» микронеровностей и увеличения отверстия ступицы на величину U_2 , а также сминания «гребешков» поверхности оси и сжатия ее на величину U_1 одновременно. Отверстие цельнокатаного колеса при запрессовке раздается на величину Δ_2 , которая согласно выводам Ляме определяется по формуле $\Delta_2 = R_2 p_k (K_2 + \mu) / E_2$, где R_2 – радиус отверстия ступицы; K_2 – отношение напряжений в ступице колеса к удельному давлению p_k ; μ – коэффициент Пуассона для материала колеса, E – модуль упругости колеса. Ось при запрессовке сжимается на величину изменения радиуса $\Delta_1 = R_1 p_k (K_1 - \mu) / E_1$, где R_1 – радиус подступичной части оси колесной пары; K_1 – отношение напряжений в подступичной части оси к удельному давлению в контакте; E_1 – модуль упругости материала оси. Путем вычисления возникающих напряжений не-

трудно по формуле Ляме показать, что при натягах до 0,22 мм напряжения на растяжение в теле ступицы не превышают 200 МПа, а в подступичной части оси – 140 МПа.

По мере дальнейшей напрессовки колеса на ось при относительном смещении деталей деформация ступицы заканчивается, а следовательно, силы, вызывающие эту деформацию, уменьшаются. Деформация оси будет происходить при этом с меньшей затратой силы вследствие полной раздачи отверстия с частичным наличием остаточной деформации.

Контроль механической запрессовки осуществляют по индикаторным диаграммам, представляющим из себя графическую зависимость изменения величины запрессовочного усилия при изменении длины сопряжения в процессе сборки соединения с натягом. Контролируемыми параметрами индикаторных диаграмм являются: конечное усилие запрессовки, фактическая длина сопряжения, форма кривой. На характер диаграммы и величину конечного усилия механической запрессовки влияют натяг, шероховатость сопрягаемых поверхностей, механические свойства материалов, форма заходного конуса сопрягаемой с колесом оси и фаски ступицы колеса, скорость плунжера пресса, вид и количество подаваемой в зону сопряжения смазки, состояние поверхностного слоя соединяемых деталей (наклеп, покрытия и пр.), несовпадение геометрических осей (перекосы) сопрягаемых деталей при их относительном сдвиге под нагрузкой от плунжера пресса, деформации узлов последнего и пр. Это обуславливает значительное рассеяние максимальных усилий запрессовки.

Для уменьшения рассеяния должен быть надлежащий контроль за соблюдением технологии изготовления элементов колесных пар, однако и в этом случае усилия запрессовки и распрессовки могут иметь значительный разброс. Таким образом, не только сам процесс механической запрессовки, но и оценку исходной прочности при формировании колесных пар вагонов нельзя считать удовлетворительными. Недостаточная надежность механических напрессовок колес на оси подтверждается практикой производства и эксплуатации колесных пар, а также материалами многочисленных исследований. В технических условиях оговорено, что диаграмма запрессовки должна быть без скачков. В конце запрессовки может быть допущено падение давления. При формировании соединения с натягом индикатор вычерчивает диаграмму в виде плавно нарастающей (при нормальной сборке), несколько выпуклой вверх кривой по всей длине перемещения деталей – от начала до конца запрессовки. Эти диаграммы позволяют контролировать величину запрессовочных усилий и их изменение в процессе сборки.

В качестве критерия правильности роста запрессовочных усилий может служить теоретически выведенная формула $P_3 = p_k \pi d l f_{oc}$. При условиях формирования соединений, обеспечивающих постоянную величину коэф-

фициента трения и равномерное распределение удельного давления по всей длине посадочной поверхности, формула может быть представлена в виде $y = ax$ с линейной функциональной зависимостью, где x изменяется в пределах от 0 до 1 (длина ступицы колеса). Во время запрессовки по мере вхождения оси в отверстие ступицы колеса усилие запрессовки P_3 увеличивается пропорционально длине запрессованной подступичной части оси. Когда значение x достигает величины 1, запрессовочное усилие получит свое максимальное значение и при дальнейшем относительном смещении колеса и оси P_3 возрастать не будет. В координатных осях оно будет представлять прямую, параллельную оси Ox . Таким образом, теоретическая диаграмма запрессовки должна представлять прямую линию, проходящую под углом к оси Ox с переходом в горизонтальный участок. При выводе теоретической зависимости запрессовочных усилий не учитывались состояние посадочных поверхностей оси и ступицы, свойства материалов, допускаемые отступления от геометрической формы деталей и пр. Все это в практических условиях оказывает влияние на величину P_3 , а следовательно, на геометрическую форму индикаторной диаграммы запрессовки соединения.

При установке оси колесной пары на прессе должно обеспечиваться совпадение геометрических осей прессуемых элементов и упорных приспособлений с осью плунжера главного цилиндра. Невыполнение этого правила приводит к задирам подступичной части оси или поверхности отверстия ступицы колеса. При этом запрессовка будет неплавной, потребуется перепрессовка с переточкой прессуемых элементов колесной пары. Правильность положения элементов относительно середины оси контролируют в момент запрессовки и после формирования колесной пары специальным шаблоном. Должны строго соблюдаться расстояния между внутренними гранями колес и между серединой шейки оси и поверхностью катания колеса. Перед формированием соединений проверяют правильность выполнения заходного запрессовочного конуса на наружном конце подступичной части (при разности диаметров не более 1 мм на длине конуса 7–15 мм) для плавного захода оси в ступицу колеса при запрессовке. Конус выполняет роль оправки, распирающей ступицу колеса. Переход от запрессовочного конуса к цилиндрической части оси должен быть без уступов.

Наличие конусности при любых значениях натягов оказывает отрицательное влияние на запрессовку и может привести к браку при формировании соединений с натягом колесных пар. Посадочные поверхности прессуемых элементов должны быть очищены, протерты и покрыты ровным слоем растительного масла (льняного, конопляного или подсолнечного). Вязкость масла влияет на величину усилия запрессовки. При недостаточной вязкости повышается давление в связи с увеличением силы трения, а при большой вязкости давление снижается. Норму наносимой смазки крайне

трудно регламентировать. Рекомендуется наносить смазку на поверхности сопрягаемых элементов тонким слоем, покрывая все соприкасающиеся при запрессовке поверхности. Незначительный слой смазки или неполное покрытие ею поверхностей контакта неизбежно вызывает повышение давления на плунжере пресса и, кроме того, задиры оси и ступицы колеса. Растительные масла необходимо проваривать перед применением при формировании соединений для удаления различных примесей (белковины, слизи и пр.).

Скорость движения плунжера гидравлического пресса для формирования колесных пар вагонов определена экспериментальным путем и должна быть не выше 3 мм/с. С увеличением скорости запрессовки конечное усилие сдвига снижается, поэтому величина натяга при больших скоростях относительного смещения сопрягаемых элементов должна быть больше, чем при низких. При наличии допустимой конусности или овальности сопрягаемых поверхностей деталей запрещается использовать обратную конусность или совмещать максимум диаметра охватываемой детали (оси колесной пары) с минимумом диаметра отверстия охватывающей.

Прессуемые элементы колесных пар должны иметь одинаковую температуру (допускается разность не более 10 °С при условии превышения температуры колеса над температурой оси). Без учета указанного требования при выравнивании температуры в сформированном соединении может произойти ослабление посадки, фактическая величина натяга будет меньше, чем назначенная. Для наглядности в таблице 2.11 представлено уменьшение величины натяга при диаметре подступичной части оси 180 мм и различных перепадах температур оси и цельнокатаного колеса.

Таблица 2.11 – Изменение величины натяга в соединении оси и колеса от температуры

Разность температур, °С	10	20	30	40	50
Уменьшение натяга, мм	0,02	0,05	0,07	0,09	0,10

Как видно из приведенных теоретических данных, разность температуры между осью и колесом 50 °С (что вполне возможно в зимних условиях) после выравнивания температуры в сформированном соединении обуславливает уменьшение натяга на величину 0,1 мм, а это может привести к сдвигу колес на оси в эксплуатации, хотя диаграммы запрессовки при формировании колесной пары были нормальными.

Если при запрессовке будет получена неудовлетворительная по форме или длине сопряжения индикаторная диаграмма или конечные усилия сдвига будут ниже установленной нормы, соединение с натягом бракуют и расформировывают. Распрессованное колесо можно повторно сопрягать с тем или другим концом оси или с другой распрессованной осью без дополни-

тельной механической обработки оси при условии, что на посадочных поверхностях подступичной части оси и отверстия ступицы колеса отсутствуют задиры. Не разрешается более двух раз перепрессовывать колесо на один и тот же конец без дополнительной механической обработки одной из сопрягаемых поверхностей. При перепрессовке конечное усилие должно соответствовать установленной норме 363–539 кН (37–55 тс) на каждые 100 мм диаметра подступичной части оси с увеличением нижнего предела на 15 %.

При механической запрессовке соединяемых с натягом деталей на выходной стороне ступицы, по сравнению со входной, происходит снижение величины натяга (соответственно, контактного давления) примерно на 10 % за счет сглаживания «гребешков» микронеровностей. Снижение натяга от смятия микронеровностей определяют по известной зависимости $\sigma_{\text{см}} = 1,2(R_{z1} + R_{z2})$. Значения R_z для возможных R_a сопрягаемых поверхностей и соответствующие им снижения величины натяга от смятия [26] приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Снижение натяга от смятия микронеровностей, мкм

В микрометрах

R_a	2,5	1,25	0,63	0,32
R_z	10	6,3	3,2	1,1
$\delta_{\text{см}}$	24	15	7,7	3,8

Вследствие смятия микронеровностей при $R_z = 6,3...10$ мкм снижение натяга $\delta_{\text{см}} = 15...24$ мкм, что при малых значениях его существенно отражается на прочности соединений. После распрессовки сформированной колесной пары величина натяга в сопряжении уменьшается на 0,02–0,04 мм, по сравнению с первоначальным при запрессовке, причем в результате многократного формирования соединения наиболее интенсивно уменьшение натяга происходит до третьей запрессовки. Несмотря на уменьшение натяга, запрессовочные усилия при повторных запрессовках возрастают в связи с упрочнением поверхностей контакта сопрягаемых деталей. Чистовое протачивание ступицы колеса: $R_a = 2,5...5,0$ мкм; $R_z = 10...20$ мкм. При шлифовании осей $R_a = 1,25...2,5$ мкм; $R_z = 6,3...10$ мкм; после накатки поверхности $R_a = 0,63...0,32$ мкм; $R_z = 3,2...1,6$ мкм.

В практике формирования колесных пар вагонов с целью получения заданных параметров запрессовки применяется малый допуск на натяг (порядка 0,02–0,03 мм), что усложняет и удорожает производство и обуславливает необходимость приточки осей «по месту». Пригонка размеров посадочных поверхностей и затруднения во взаимозаменяемости деталей в пределах допускаемых натягов при формировании колесных пар вагонов ос-

ложняют организацию и планирование нового производства и ремонта колесных пар со сменой элементов, сдерживают внедрение прогрессивной точной технологии механосборочного производства. Механическая напрессовка колес на оси не обеспечивает стабильности процесса сборки соединений и приводит к неизбежным перепрессовкам колесных пар из-за неудовлетворительного состояния контрольных диаграмм запрессовки, повреждения посадочных поверхностей деталей в виде задиров и пр. Многочисленные и трудно учитываемые факторы влияют на исходную прочность соединений механического формирования на прессах: состояние поверхностей сопряжения после запрессовки; степень пластических деформаций деталей в зоне контакта; уменьшение натяга в сопряжении в результате сглаживания «гребешков» микронеровностей контактирующих поверхностей соединяемых деталей; несовпадение геометрических осей элементов формируемых соединений и пр. Большой процент брака в запрессовках вызывается неправильным режимом работы гидравлического прессового оборудования. При механической запрессовке необходимо обеспечивать плавную гидравлическую подачу плунжера пресса (отсутствие толчков) и постоянную скорость его движения.

Процессы трения, происходящие в зоне сопряжения деталей соединений с гарантированным натягом при их относительном сдвиге от рабочей нагрузки, во многом зависят от состояния поверхностей, которое они приобретают после сборки, и характера деформирования микропрофиля сопряженных элементов внедрившимися неровностями. Возможность ограничения переформирования исходного микропрофиля деталей при сборке, обеспечение наиболее полного взаимовнедрения микронеровностей контактирующих поверхностей позволяет получать сопряжения в несколько раз прочнее, чем при традиционной механической запрессовке колесных пар вагонов, так как именно указанное взаимовнедрение микропрофиля, в основном, определяет исходную прочность напрессовок. В то же время исключение ряда технологических факторов (например, наличие смазки в сопряжении, несовпадение геометрических осей и перекосов сопрягаемых элементов при сборке и пр.) также позволяет повысить исходную прочность напрессовок колес на оси при формировании колесных пар вагонов.

Решающее значение имеют вопросы обеспечения подачи нужного (регламентированного) количества смазки между поверхностями контакта сопрягаемых с натягом деталей. Известно, что масляная прослойка не выжимается из зоны тяжело нагруженного контакта при высоких удельных давлениях, изменяет характер процессов трения при относительном сдвиге контактирующих поверхностей.

Коренным решением вопроса **повышения несущей способности напрессовок** являются: рациональная технология формирования сопряжений

с гарантированным натягом; использование известных технологических мероприятий и изыскание новых способов повышения долговечности и надежности соединений. Технологические мероприятия должны предусматривать наряду с совершенствованием традиционных процессов сборки внедрение новых прогрессивных технологий, технологическую подготовку поверхностей сопряжения соединяемых с натягом деталей с целью увеличения коэффициента трения и площади фактического контакта охватывающей и охватываемой деталей, снижения концентрации напряжений и общего напряженного состояния валов (осей) в зонах напрессовок.

Ремонт со сменой элементов связан с распрессовкой колесных пар. **Расформирование колесных пар** выполняют при необходимости смены колеса или оси, наличии признаков сдвига колеса относительно подступичной части оси, несоответствии расстояния между внутренними гранями колес; отрицательных результатах опробования на сдвиг одного или двух колес [соединение не выдержало нагрузочного усилия 735–833 кН (75–85 тс). Если посадка с натягом колеса на ось выдерживает нагрузку при испытании, расформирование не производят, а на торце шейки оси ставят клеймо "ФФ"]. Разрешается при смене элементов заменять колеса и оси как новыми, так и бывшими в эксплуатации (старогодными), но признанными годными после метрического (обмера), магнитного и звукового контроля. По системе вала подготавливают ось, и к ней притачивают ступицу колеса с требуемым натягом под запрессовку. Это позволяет увеличить срок службы оси, т. к. при смене колес будет иметь место минимальное снятие металла с подступичной части оси. Старогодную ось протачивают для устранения дефектов, вызванных распрессовкой (задиры, риски, намины металла, следы фреттинг-коррозии). После проточки по параметру шероховатости чистовой обработки подступичные части осей накатывают роликами.

Приточка колес к осям предусматривает грубую обдирку и чистовую расточку на токарно-карусельных станках (КС-112, КС-412, 1401М, SE21-1300 и др.). Оптимальный режим резания при обработке ступицы: подача – 0,2 мм/об; глубина резания – 0,3–0,5 мм; скорость резания – 58 м/мин. Допускаемые отклонения при механической обработке ступицы не должны превышать по конусности 0,05 мм на 100 мм диаметра (основание конуса с внутренней стороны ступицы).

Перед запрессовкой посадочные поверхности ступиц и осей должны быть обезжирены, протерты насухо, а затем покрыты ровным слоем вареного растительного масла (льняное, конопляное). Технология сборки колес с осями (формирование колесной пары) основана на механической запрессовке осей в ступицы колес в холодном состоянии на горизонтальных гидравлических прессах П447, П738, П135 и др.

Соединение бракуют, если при запрессовке запись процесса сборки на индикаторной диаграмме показывает: отклонения от установленной

формы кривой запрессовки; высокие или низкие конечные запрессовочные усилия [363–539 кН (37–55 тс на 100 мм диаметра посадки) – нормированная величина)]; недостаточную длину сопряжения (длина диаграммы должна составлять не менее 85 % теоретической длины). Годные и забракованные диаграммы запрессовки после формирования, оформления и приемки колесных пар хранят в течение 20 лет. *На диаграмме должны быть записаны следующие сведения:*

- дата запрессовки, тип колесной пары, номер оси;
- диаметр подступичной части оси и диаметр отверстия ступицы колеса (с точностью до 0,01 мм), величина натяга;
- длина ступицы, конечное усилие запрессовки;
- маркировка колеса, сторона колесной пары (левая, правая).

На каждой забракованной диаграмме делается пометка «Брак» с указанием причины браковки (повреждения посадочных поверхностей, низкие конечные усилия запрессовки). Форма кривой и другие браки обуславливают высокий процент перепрессовок в вагоноремонтном производстве и при новом формировании колесных пар вагонов.

При обработке поверхностей катания колес обточке подвергаются: уклоны, фаска, гребень обода колеса, внутренние грани при необходимости; наружная грань обода для устранения поверхностных дефектов в виде наплывов, уширения обода колеса, неровностей при условии сохранения знаков и клейм завода-изготовителя и ширине оставшегося обода не менее 126 мм. Минимальная толщина обода колеса *допускается*: не менее 24 мм после текущего и среднего ремонта и не менее 27 мм – при капитальном ремонте, ширина обода колеса – в пределах 126–136 мм (для нового колеса указанный размер составляет 130–133 мм); разность диаметров колес, овальность и эксцентricичность – не более 0,5 мм (для новых колес с обработанным профилем катания и старогодных колес с исправным профилем, насаженных на одну ось, допуск увеличивается до 1 мм); расстояние между внутренними гранями – 1438–1443 мм при ремонте без смены элементов и 1441 мм – при ремонте со сменой элементов.

Для увеличения срока службы колес необходимо сокращать число обточек по профилю катания при ремонте колесных пар и стремиться к уменьшению толщины срезаемого слоя (36–43 % рабочей части обода колеса при обточках уходят в стружку).

Обработку по профилю катания колесных пар производят на колесоточкарных станках, оборудованных механическими копирами и позволяющих получать стандартный профиль обода колеса автоматически (например, 1836А, 1836Б, 1А936, 1936 и др. Краматорского завода тяжелого машиностроения). Имеется оборудование с гидрокopировальными суппортами и гидравлическими креплениями колесных пар на станке при механической

обработке резанием. Используются колесотокарные станки "Рафамет" различных модификаций (UBB-112, UBA112, UBC150 и др.), имеются портальные станки "Хегеншайдт" и обычные колесотокарные станки этой фирмы (Германия). Колесотокарные станки оборудуются оптической системой, позволяющей наблюдать за процессом резания на фоне стандартного профиля обода колеса и таким образом визуально контролировать толщину снимаемой стружки при обработке.

Обработку шеек осей колесных пар осуществляют на шечно-накатных станках (МК117, 1835, ХАС112, ХАД112, "Рафамет" и др.). При ремонте колесных пар с роликовыми подшипниками шейки и предподступичные части осей, как правило, не обтачивают. Производят зачистку на станках мелкой шлифовальной шкуркой. Острые кромки, выступающие края забоин и вырывов, риски зашлифовывают заподлицо с основной поверхностью бархатным напильником и шлифуют шкуркой. При невозможности устранения дефектов таким образом шейки роликовых колесных пар перетачивают от номинального диаметра $130^{+0,052}_{+0,025}$ мм до градационных ремонтных размеров по установленным параметрам шероховатости поверхности, а затем накатывают роликами. Градационные ремонтные размеры обработки шеек роликовых осей колесных пар позволяют обеспечить при сборке с внутренними кольцами подшипников качения максимальный и минимальный натяги в соединении горячей посадки соответственно по группам: 0,060–0,043; 0,059–0,043 и 0,058–0,043 мм. Величины конусности и овальности шейки оси под подшипник качения не должны превышать 0,02 мм при горячей посадке внутренних колец последних. Обработку шеек осей колесных пар разрешается выполнять до запрессовки и после запрессовки и обточки поверхностей катания колес. В процессе обточки шеек и предподступичных частей осей разность диаметров и длин шеек у одной колесной пары не регламентируется. Шейки и предподступичные части оси колесной пары после механической обработки подлежат испытанию магнитным дефектоскопом.

После формирования новых колесных пар, ремонта их со сменой элементов, после полного освидетельствования, а также после опробования на сдвиг колесных пар, на торцах осей должны быть проставлены установленные знаки маркировки и клейма: номер завода-изготовителя оси и пункта, перенесшего знаки маркировки на торец шейки; номер оси колесной пары и дата ее изготовления; условный номер пункта, производившего формирование и полное освидетельствование колесной пары, знак и дата формирования, дата полного освидетельствования; клеймо контрольного или колесного мастера, клеймо приемщика.

Принятую колесную пару окрашивают масляной краской черного цвета, черной эмалью или лаком. При выпуске вагонов из всех видов ремонта за-

прещается подкатывать под вагон (или оставлять под вагоном) колесные пары, если:

- размеры колесной пары менее указанных в действующей инструкции по формированию, освидетельствованию и ремонту колесных пар вагонов колеи 1520 мм;

- разность диаметров по кругу катания колес у грузовых вагонов в двух тележках более 40 мм и в одной тележке – более 20 мм.

Вопросы охраны труда и окружающей среды при ремонте колесных пар вагонов в депо (транспортировка, погрузка и выгрузка колесных пар и их элементов; грузоподъемные механизмы, приспособления; очистка и обмывка колесных пар; механическая обработка; электросварка и наплавка; электробезопасность и пр.) рассматриваются в специальной литературе и в учебнике.

Основными технологическими мероприятиями по увеличению надежности и срока службы колесных пар являются:

- исключение нерационального съема металла с поверхности катания колес, упрочнение этой поверхности;

- поверхностное упрочнение осей накаткой роликами;

- повышение точности обработки колесных пар, динамическая балансировка;

- наращивание изношенных шеек осей (подрوليковые подшипники) до номинальных размеров;

- повышение нагрузочной способности соединений с натягом колес и осей.

Фактический срок службы колеса зависит от количества обточек и толщины снимаемого за одну обработку слоя металла с учетом годового пробега вагона. Запрещается обтачивать колеса с прокатом ниже установленных норм. При выпуске из капитального ремонта вагонов допускается наличие равномерного проката колес не более 3 мм, из деповского ремонта – не более 5 мм.

Обработку резанием можно облегчить, применяя предварительный отжиг поверхности катания (за счет размягчения твердых участков обода колеса, являющихся следствием торможения). Обточку выполняют со снятием стружки минимальной толщины, при этом исключается необходимость подрезания под твердый слой, что сохраняет на каждой колесной паре по 40–50 кг полезного металла. Используется нагрев обода колеса токами высокой частоты (индукционный нагрев). Производительность колесотокарных станков увеличивается примерно на 40 %. Известны **способы экономичной обработки поверхности катания:**

- с использованием сильного и скоростного шлифования;

- фрезерования составными фасонными фрезами.

Совмещение при механическом упрочнении поверхности (накатывание роликами осей колесных пар) в одном проходе упрочнения и сглаживания позволяет увеличить прочность поверхностного слоя и уменьшить шероховатость поверхности (инструмент – упрочняющие и сглаживающие накатные ролики). Накатывание производится с подачей 0,6–0,7 мм/об при частоте вращения не более 220 об/мин. При упрочняющей накатке (подступичные части осей диаметром 180–220 мм) нагрузка на ролик диаметром 130 мм составляет $P_{\text{нак}} = 22^{+2,0}$ кН (2200⁺²⁰⁰ кгс), при диаметре ролика 150 мм – $P_{\text{нак}} = 24^{+2,0}$ кН (2400⁺²⁰⁰ кгс). Профильные радиусы роликов: упрочняющего – 15, сглаживающего – 50 мм.

Динамическую балансировку колесных пар вагонов предусматривают при эксплуатации подвижного состава железнодорожного транспорта со скоростями движения выше 140 км/ч.

Рекомендован способ наращивания шеек осей роликовых колесных пар металлизацией для продления срока их службы (электродуговые металлзаторы "ЭМ-12"). **Технологическая последовательность операций восстановления посадочного диаметра шеек под внутренние кольца роликовых подшипников** следующая:

- обточка поверхности шейки для устранения дефектов;
- упрочняющая накатка обработанной поверхности;
- магнитно-порошковая (мокрый способ) дефектоскопия;
- обезжиривание поверхности;
- нанесение слоя молибдена для увеличения адгезии (сцепления) стального покрытия с металлом шейки;
- обезжиривание и нанесение стального покрытия;
- обработка резанием металлизированных шеек.

Известна технология восстановления шеек осей роликовых колесных пар и посадочных поверхностей корпусов роликовых букс методом композиционного электролитического железнения. Состав композиционного электролитического покрытия (двухфазных систем): осажденное железо (металлическая основа) и мелкодисперсные частицы (например, корунд) в количестве 2–4 % от массы основы. Указанные покрытия "железо – корунд" обладают:

- повышенной прочностью микропрофиля и эластичностью;
- более высокой (в 3–5 раз) износостойкостью;
- высокой степенью сцепления с подложкой (восстанавливаемой поверхностью).

Нанесенный композиционный слой "железо – корунд" шлифуют под номинальный размер посадки внутренних или наружных подшипников качения буксовых узлов колесных пар вагонов.

При износе посадочных поверхностей цилиндрических деталей машин используют полимерные материалы в виде *эластомеров*, т. е. раствора по-

лимера в ацетоне (например, эластомер ГЭН–150В), для восстановления натягов в сопряжениях. Слой эластомера наносят на подложку (поверхность детали) кистью или распылением, затем выдерживают при температуре 140...150 °С в течение часа для отверждения полимерной пленки. Основным недостатком указанной технологии является неравномерность толщины тонкослойного полимерного покрытия и длительность процесса полимеризации. Целесообразно использовать расплав полимера (а не раствор в ацетоне) для наращивания посадочных поверхностей наружных и внутренних деталей, имеющих форму тел вращения. Для реализации такой технологии восстановления изношенных поверхностей может быть использован «Способ облицовки цилиндрических деталей полимером» по а. с. 324165. При нанесении слоя полимера на наружную поверхность цилиндрической детали на последнюю устанавливают концентрично подвижную полуобойму с монтажным зазором, соответствующим толщине требуемого полимерного покрытия, через которую по литниковой кольцевой проточке (на внутренней цилиндрической поверхности отверстия обоймы) расплав полимера подается под давлением на покрываемую поверхность из литникового устройства экструдера или литьевой машины. Перед облицовкой покрываемую поверхность обезжиривают и детали сообщают вращательное движение вокруг ее продольной оси. При непрерывной подаче расплава полимера под давлением и продольном перемещении обоймы слой полимера как бы навивается на вращающуюся деталь и упрочняется в зазоре между последней и внутренней цилиндрическими поверхностями обоймы. Скорость вращения, продольная подача обоймы, давление и подача расплава полимера, температура расплава и пр. (технологический режим облицовки) определяют расчетно-экспериментальным путем. *Преимущества описанной технологии восстановления деталей полимером:*

- уплотняется и калибруется (обеспечивается толщина наращенного слоя полимера по всей длине окружности постоянной заданной величины) тонкослойное покрытие;

- исправляется макрогеометрия охватываемой детали формируемого соединения с гарантированным натягом;

- улучшается качество наносимой облицовки за счет ориентации молекул полимерного материала.

Повышение нагрузочной способности соединений с натягом типа "вал – втулка" – актуальная задача инженерной практики и исследований. **Основные факторы, влияющие на прочность сопряжения соединений и усталостную прочность осей колесных пар**, можно сгруппировать в следующем сочетании:

- а) конструктивное исполнение соединения – соотношение длины посадки и диаметра сопряжения, форма поверхности сопряжения

охватывающей детали у ее торцов, форма расточки внутренней поверхности охватывающей детали и ее наружной конфигурации;

б) геометрические параметры сопряжения – диаметр посадки, длина, толщина стенки охватывающей детали, натяг посадки, макро- и микрогеометрия сопрягаемых деталей;

в) физико-механические свойства материалов элементов соединения и побочные факторы – модуль упругости, предел прочности, предел текучести, предел выносливости, коэффициент Пуассона, коэффициент линейного расширения, остаточные напряжения в осях, фреттинг-коррозия на поверхностях контакта сопряженных деталей;

г) технология сборки соединений – механическая запрессовка под прессом, тепловая сборка, соединение деталей при помощи глубокого холода, гидропрессовая сборка, сборка с использованием отпуска и структурных превращений закаленных сталей;

д) технологическая подготовка поверхностей контакта сопрягаемых деталей – упрочняющая накатка поверхностей роликами, шариками и пр., тонкослойные покрытия – гальванические, полимерные и др.;

е) условия нагружения соединений, вызывающие относительный сдвиг и разрушение деталей, – центральное приложение осевой статической нагрузки сдвигающей, крутящий момент, плоский изгиб, пульсирующая нагрузка и ударная осевая, переменное ударное кручение, одновременное нагружение осевой сдвигающей нагрузкой и знакопеременным изгибом оси.

Возможность повышения нагрузочной способности соединений с натягом типа “вал – втулка” путем проведения соответствующих конструктивных изменений формируемых соединений не обеспечивает существенного повышения прочности посадок на сдвиг и усталостной прочности валов (осей) в зонах напрессовок. Кроме того, указанные мероприятия конструктивного характера вызывают удорожание и усложнение производства. Так, например, в практике машиностроения известен способ повышения несущей способности посадок за счет увеличения длины сопряжения соединяемых с натягом деталей. Увеличение длины поверхности контакта в сопряжении позволяет повысить сопротивление посадок относительно осевому сдвигу не более чем на 15–20 %, вызывает перерасход металла и дополнительные затраты на механическую обработку деталей.

Повышение величины натяга в сопряжении допустимо только до определенного предела, обусловленного уровнем напряженного состояния сопрягаемых элементов, после которого статическая прочность соединения остается практически неизменной или может даже понизиться. Снижается в этом случае и усталостная прочность осей в зонах напрессовок вследствие повышения остаточных напряжений от контактного давления и по-

верхностных сил трения под посадкой. Повысить прочность соединений с натягом колесных пар вагонов можно за счет использования в сопряжении оси с возвышенной подступичной частью длиной, примерно равной длине ступицы колеса. Это позволит незначительно повысить прочность напресовок на сдвиг и снизить концентрацию контактного давления в сопряжении на границах посадки колеса на ось (от 1,75 с нормальной осью до 1,2 для оси с возвышенной подступичной частью).

Анализ исследований показывает, что наиболее эффективны мероприятия технологического характера. Основные направления в решении этого вопроса – повышение площади фактического контакта по длине сопряжения цилиндрических поверхностей охватываемой и охватывающей деталей, увеличение коэффициента трения в зоне сопряжения, улучшение технологии сборки напряженных посадок типа вал – втулка. Для повышения надежности цилиндрических соединений с гарантированным натягом типа «вал – втулка» целесообразны технологические мероприятия, приведенные в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Технологические мероприятия

Направление	Мероприятия
Совершенствование применяемых традиционных технологических процессов сборки, внедрение новых, прогрессивных технологий формирования соединений	Формирование соединений с применением нагрева одной из деталей, сборка с глубоким охлаждением, с использованием распора от высокого давления масла в зоне сопряжения (гидропресовая): а) при нагнетании масла между контактирующими поверхностями через маслопроводы в соединяемых деталях; б) с торцовой односторонней подачей масла или иной жидкости для образования расклинивающей пленки между контактирующими поверхностями сопрягаемых с натягом деталей; в) с нагнетанием гидросреды в зону сопряжения с двух торцов охватывающей детали соединения
Увеличение поверхностных сил трения в зоне сопряжения (коэффициента трения и площади фактического контакта)	Улучшение макро- и микрогеометрии сопрягаемых деталей в зоне их контакта, применение тонкослойных покрытий на поверхностях сопрягаемых деталей: а) гальванических металлопокрытий охватываемых деталей (перед сборкой соединений); б) из жидкотекущих полимерных композиций и паст, наносимых на поверхности деталей до сборки; в) с нанесением расплава полимера на поверхность вращающейся детали с последующим уплотнением и калиброванием полимерного материала по мере его остывания; с использованием в качестве рабочей жидкости полимерных композиций приемлемой вязкости с последующей их полимеризацией внутри сопряжения. Использование микропорошковых и других наполнителей в масле при гидропресовой сборке. Азотирование, оксидирование поверхностей сопряжения и пр. Введение в зону контакта соединяемых с гарантированным натягом деталей промежуточного сжимаемого элемента

Увеличить площадь фактического контакта и коэффициент трения в зоне сопряжения соединений с натягом можно и путем применения тонкослойных покрытий на посадочных поверхностях соединяемых деталей. Покрытия наносят различными способами на сопрягаемые детали и затем формируют посадки в условиях, исключающих возможность повреждения их контактирующих поверхностей при относительном аксиальном смещении. Испытания на натуральных образцах колесных пар показали, что мягкие гальванические покрытия позволяют в 2–3 раза повысить прочность сопряжения колес с осями.

В машиностроении распространены соединения, в которых одна из детали **оксидирована** по сопрягаемой поверхности. Особенностью контактирования соединений с оксидированными валами состоит в том, что более твердые микронеровности втулки внедряются в мягкую оксидную пленку, которая заполняет впадины микропрофиля охватывающей детали и вызывает существенное увеличение площади фактического контакта. В этом случае относительное смещение сопряженных деталей сопровождается одновременным срезом микрообъемов оксидированного слоя, что и обуславливает повышение прочности соединений. Оксидирование является эффективным средством повышения прочности соединений, при этом сборка может осуществляться как тепловым, так и гидропрессовым способами.

Кроме оксидирования известно использование **азотирования** валов перед сборкой соединений (по обычной технологии в электропечах при температуре 520...530 °С с выдержкой 24 ч). Причины повышения прочности соединений с азотированными валами также кроются в характере взаимодействия поверхностей контакта деталей, при котором более твердые микронеровности вала внедряются в неровности втулки, повышая прочность контакта и усиливая относительного сдвига деталей.

Одним из резервов повышения несущей способности соединений может служить нанесение на одну из деталей соединения с натягом **абразивных микропорошков** (карбид бора и электрокорунд с размерами зерен соответственно 30 и 12 мкм) в виде жидкой пасты, состоящей из микропорошка и индустриального масла.

Эффективными являются покрытия из **синтетических клеев**, обеспечивающие возможность создания прочной тонкослойной полимерной пленки с хорошей адгезией к металлической подложке. Статическая прочность соединений с пленками полимеров в зоне сопряжения деталей значительно выше соединений «металл по металлу». Применение тонкослойных полимерных покрытий позволяет повысить предел выносливости осей в зонах напрессовок и вместе с тем изменить характер и расположение усталостных изломов осей в зонах напрессовок. Наличие пленки в соединении исключает непосредственный контакт сопряженных металлических поверхностей; способствует равномерному распределению напряжений в зоне высоких удель-

ных давлений; предохраняет от контактной коррозии, механического износа в результате перемещения деталей при ослаблении посадки и от повреждений при демонтаже.

При облицовке полимером добиться равномерности покрытия на деталях довольно затруднительно, учитывая, что толщина наносимого полимерного слоя должна быть весьма незначительной (иначе теряется смысл тонкослойного покрытия, и полимерный материал будет работать в соединении с натягом как промежуточное сжимаемое звено). В этой связи заслуживает внимания описанный выше "Способ облицовки цилиндрических деталей" с использованием литья расплава полимера под давлением. Данный способ не исключает также возможности использования жидких полимерных композиций, подаваемых под давлением в калибрующее устройство с одновременным подогревом покрываемой поверхности детали (например, индукционным нагревом). Нанесение тонкослойных полимерных покрытий указанным способом позволяет упростить технологию облицовки крупногабаритных деталей, повысить прочность, надежность и долговечность покрытия.

При обычной механической запрессовке срезается значительная часть мягких покрытий, а при использовании твердых тонкослойных покрытий на контактных поверхностях деталей, сопрягаемых с натягом, образуются задир. Эффективность любого покрытия может быть реализована лишь в условиях сборки соединений, исключающих возможность повреждения поверхностей деталей в зоне тяжело нагруженного контакта.

Таким образом, вопрос совершенствования формирования соединений с гарантированным натягом следует рассматривать не только как одну из технологических возможностей повышения нагрузочной способности посадок с натягом и долговечности машин, но и как необходимое условие эффективности тонкослойных покрытий в сопряжениях деталей.

Внедрение в производство **гидропрессовой сборки** соединений с использованием гидрораспора от высокого давления жидкости в зоне сопряжения позволяет реализовать новые, сопутствующие технологии, обеспечивающие повышение надежности и долговечности напрессовок. Замена минерального масла на жидкую полимерную композицию с различными наполнителями дает принципиально новый эффект. Обеспечивается автоматическое нанесение тонкослойного полимерного покрытия, разделяющего поверхности сопряжения, непосредственно в процессе сопряжения деталей с натягом. После сборки соединения в зоне контакта остается жидкий полимерный материал (жидкая смазка не выжимается из зоны контакта при достаточно высоких удельных давлениях). В дальнейшем оставшаяся в зоне сопряжения прослойка полимеризуется и образует тонкослойное полимерное покрытие, снижающее активность процессов фреттинг-коррозии. Автоматически обеспечивается оптимальная толщина полимерного слоя и ком-

пенсируются отклонения сопряженных деталей от геометрической формы, допущенные при изготовлении за счет выравнивания профиля полимером.

Использование для подачи в зону контакта различных жидкотекучих полимерных композиций расширяет технологические возможности увеличения нагрузочной способности соединений деталей машин. Разработанные НИИ полимеров анаэробные герметики представляют собой многокомпонентные жидкие составы, способные длительное время сохранять свои свойства без изменения, а в узких зазорах при температуре 15...20 °С и нарушении контакта с кислородом воздуха – быстро отверждаться, образуя прочный полимер. Благодаря высокой проникающей способности герметики плотно заполняют микродефекты и обеспечивают высокую степень герметичности. Анаэробные герметики обладают хорошей адгезией, стойкостью к действию воды, масел, моторного топлива, органических растворителей, кислот, щелочей и других химических веществ в широком интервале температур и давлений. Анаэробные герметики Ан-6, Ан-8 применяют в буксовых узлах колесных пар подвижного состава для улучшения торцового крепления роликовых подшипников. Герметик заполняет зазоры между резьбовыми частями шейки оси колесной пары и корончатой гайки (М110 х 4), равномерно распределяет напряжение между всеми витками резьбы, обеспечивает стопорение гайки и предотвращает нарушение торцового крепления подшипников в эксплуатации. Температурный рабочий диапазон составляет 65...100 °С, сохранение эффекта стопорения герметика при температуре эксплуатации – не менее 15 лет.

Другим способом повышения прочности гидропрессовых соединений является замена масла смесями жидких смазок и наполнителей, повышающих поверхностные силы трения в зоне сопряжения. Наполнители, обладая высокими коэффициентами трения, одновременно должны обеспечивать полную сохранность поверхностей сопряжения (без задиров) при расформировании соединений с натягом.

При гидропрессовом формировании с торцовым нагнетанием масла высокого давления обеспечивается возможность некоторого снижения жесткости ступицы колеса у ее края. Это достигается за счет обжатия граничной части поверхности сопряжения на длине частичной механической запрессовки Δl заходным конусом оси колесной пары. Необходимая для гидропрессования частичная механическая подпрессовка Δl создает в зоне кромки ступицы "поясок обжатия" с уменьшенной величиной натяга за счет среза гребешком микронеровностей. Применительно к соединениям колесных пар вагонов указанное уменьшение натяга при диаметре осей 180–190 мм может достигать $\delta_{см} = 0,02...0,04$ мм в зависимости от чистоты обработки поверхностей сопряжения и величины контактного сжатия. Причем высота микронеровностей поверхности ступицы уменьшается примерно на 60 %, а поверхности оси – на 40 %.

При обычной механической запрессовке на выходной части ступицы наблюдается снижение величины контактного давления примерно на 10 % по сравнению с контактным давлением на входной части, вследствие уменьшения натяга. При торцовой гидропрессовой сборке соединений на длине сопряжения частичной механической подпрессовки Δl можно получить действительный натяг соединений $\delta' = \delta - 0,6\Delta l$. При этом посадочная поверхность у заходного края ступицы приобретает форму, близкую к рациональной конусной расточке охватывающей детали, позволяющей снизить концентрацию напряжений в зоне кромки ступицы. На остальной части сопряжения ($l - \Delta l$) не происходит такого переформирования микропрофиля (смятие и срез микронеровностей, заполнение впадин металлом) поверхностей и соответственно остается больший натяг, чем в зоне кромки ступицы. За счет этого меняется характер распределения удельного давления в зоне контакта по длине посадки, снижается концентрация напряжений в зоне обжатой кромки посадочной поверхности охватывающей детали и повышается усталостная прочность охватываемой. Сравнительный расчет показывает, что величина контактного давления в зоне с уменьшенным натягом по сравнению с остальной поверхностью сопряжения ниже на 10–20 %. Эффективность обжатия кромки ступицы зависит от вариаций натягов и шероховатости поверхности сопрягаемых деталей. Таким образом, указанное обжатие ступицы при формировании колесных пар вагонов позволяет уменьшить влияние концентрации давления в опасной зоне у внутренней кромки ступицы колеса и повысить долговечность оси.

В эксплуатации оси подвергаются воздействию переменной изгибающей нагрузки, изменяющейся по симметричному циклу. Наибольшие напряжения появляются в точках наружных волокон оси, разрушение при переменных напряжениях начинается с образования в наиболее напряженных местах детали микротрещин, которые, постепенно развиваясь, проникают внутрь ее. При кручении круглых стержней (валов) разрушение последних начинается с поверхности, у которой действуют наибольшие напряжения от внешней нагрузки. При проектировании соединений с натягом колесных пар вагонов должны быть удовлетворены как требования неподвижности соединений (за счет сил упругости от предварительной деформации деталей, обуславливающих силы трения на поверхности контакта), так и условия прочности деталей.

По патентной литературе известны конструкции колесных пар локомотивов, содержащие **составные оси**, выполненные с целью повышения надежности и долговечности в виде двух труб, размещенных концентрично одна в другой. В связи со сложностью сборки указанного соединения наружная труба образована из двух последовательно расположенных и соединенных с колесными центрами частей, связанных между собой через со-

ставное зубчатое колесо привода. При этом часть наружной трубы, расположенная между колесами, смонтирована с зазором относительно внутренней трубы. Для упрощения технологии изготовления и снижения напряжений в опасных сечениях (создания предварительных напряжений, обратных по знаку рабочим напряжениям) при сборке их из концентрично расположенных и соединённых с натягом частей эффективен способ сборки запрессовкой деталей типа «вал – втулка» с использованием высокого давления подаваемой в зону сопряжения рабочей жидкости (масла). Данный способ позволяет реализовать поперечно-прессовую сборку соединений аналогично применяемому тепловому формированию посадок с натягом, но свободную от недостатков последнего. Аксиальное смещение наружной трубы относительно неподвижно закрепленной внутренней части составной оси осуществляется по масляной прослойке в зоне контакта между ними, т. е. реализуется эффект образования сборочного зазора, заполненного маслом. Последующее сжатие при наличии натяга в сопряжении достигается после снятия упругих деформаций соединяемых деталей, обусловливаемых гидрораспором от жидкой смазки по длине посадки. Для сборки осей (валов), состоящих из двух труб, предназначены устройства, защищенные авторскими свидетельствами на изобретения (а. с. 1484538, 1614905, 1700878).

В составных осях колесных пар можно использовать дополнительное аксиальное сжатие наружной трубы при помощи внутренней сжимающей части с оппозитно расположенными фиксаторами. В соответствии с функциональными особенностями оси колесной пары предварительно напряженная конструкция оси испытывает изгиб, воспринимая весовую нагрузку. При этом напряжения распределяются таким образом, что растягивающие напряжения изгиба для расположенных в верхней части сечения оси волокон материала суммируются с аксиальными напряжениями, созданными сжимающей внутренней частью, и уменьшаются на величину напряжений предварительного сжатия. В нижней части сечения сжимающие напряжения от изгиба повышаются на ту же величину напряжений предварительного сжатия настолько, что не превышают предела прочности материала на сжатие. Таким образом, запас прочности, определяемый величиной напряжений растяжения, может быть увеличен.

Использование предложенной двухсторонней торцовой гидропрессовой сборки при изготовлении составных осей (валов) со сменной наружной трубчатой частью и разработанной технологической оснастки позволяет относить указанные соединения деталей колесных пар к категории легкоразъемных. Полученные теоретические зависимости распределения давления гидросреды в зоне сопряжения обеспечивают возможность эффективного регулирования величин давления нагнетания рабочей жидкости с оппозитно расположенных торцов формируемого соединения составной оси колесной

пары для рациональных режимов гидрораспора между поверхностями контакта деталей при сборке.

Станок, предназначенный для обточки колесных пар, имеет две шпиндельные головки, несущие планшайбы с зажимными устройствами, два суппорта и подъемник для погрузочно-разгрузочных операций (рисунок 2.15).

Современные технические средства и электронные устройства позволяют найти более оптимальные решения в процессе обработки колесных пар. Усовершенствованный станок для обточки колесных пар характеризуется автоматизированным устройством, которое включает компьютер сбора информации для определения стратегии обработки колесных пар и обточки при внезапных изменениях процесса, и датчики контроля рабочего процесса. Система управления станком обеспечивает работу в автоматизированном и ручном (при работе операторов) режимах с использованием всех технических возможностей станка (рисунок 2.16).

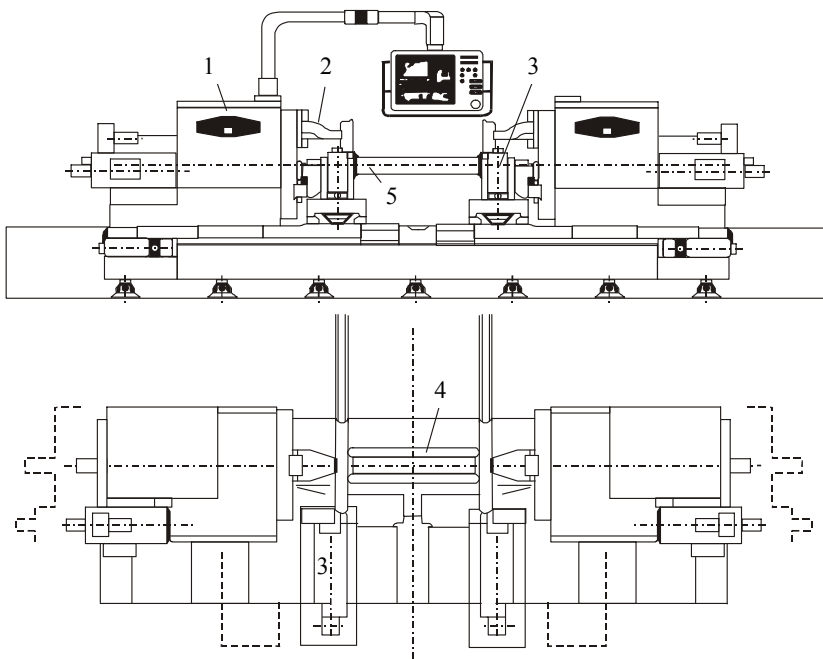


Рисунок 2.15 – Схема станка для обточки колесных пар:

1 – шпиндельная головка; 2 – планшайба с зажимным устройством; 3 – суппорт; 4 – подъемник;
5 – колесная пара

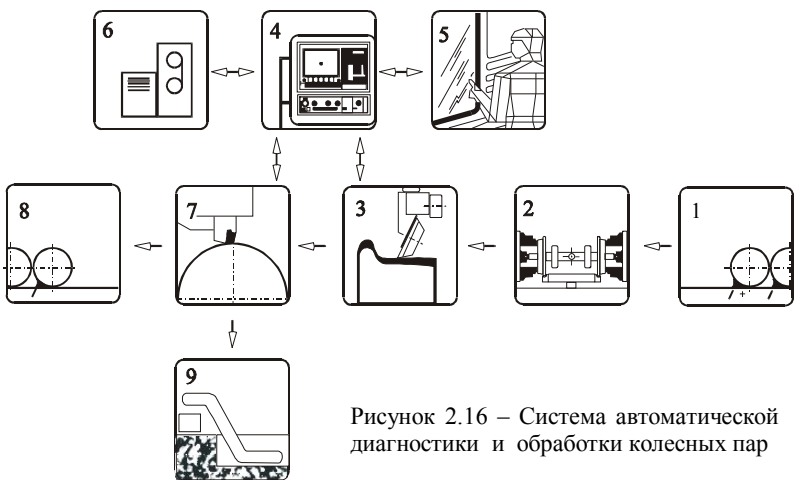


Рисунок 2.16 – Система автоматической диагностики и обработки колесных пар

Перед станком находится накопитель 1 колесных пар, откуда они автоматически подаются к станку. Колесная пара устанавливается на станке и, после определения требуемого диаметра зажима 2, крепится. Затем измеряют степень износа профиля колеса 3, далее данные передаются в блок системы управления 4, осуществляется разработка программы обработки (например, количества и направления проходов) в блоке системы управления и обработка колеса 7. Датчики измеряют и контролируют результат работы во время (поломка инструмента) и после (полученная геометрия обрабатываемого изделия) окончания обработки и передают информацию блоку управления. Накопитель для обработанных колесных пар 8 так же необходим, как и безотказно функционирующее приспособление для удаления стружки 9. Оператор 5 и ЭВМ 6 или измерительные блоки получают информацию в процессе обработки и могут вмешаться в ход процесса (управляющее воздействие).

Для обеспечения непрерывной работы, особенно при многостаночном обслуживании, необходимо обеспечить автоматическую подачу колесных пар из накопителя. Число колесных пар, находящихся в накопителе, должно составлять, например, 3–4, если работают два станка или обработка проходит при кратковременном отсутствии оператора. Наиболее экономичным решением проблемы являются взаимосвязанные, передающие друг другу колесные пары, отдельные накопители. Обработка колесных пар в течение длительного времени в автоматическом режиме требует наличия значительно более вместительных накопителей, например, вмещающих 10 колесных пар с общей системой транспортировки.

Наряду с измерениями колесной пары, выполняемыми перед обработкой, первостепенное значение приобретают измерения колесной пары в

«процессе», т. е. измерения, осуществляемые в обрабатывающем станке. В то время как измерения вне станка служат основанием для решения многих задач (например, для принятия решения о наварке изношенного гребня колеса), измерения в процессе обработки являются экономически целесообразными с точки зрения обеспечения оптимального режима механической обработки резанием. Используется принцип контактного измерения при помощи измерительного щупа. Измерения осуществляются селективно в двух осевых и одном радиальном направлениях, и, таким образом, достигается универсальность (рисунок 2.17).

Измерительный щуп дополнительно имеет систему измерения величины перемещений. Размер детали определяется при неподвижном суппорте, снабженном системой измерений, как результат величины отклонения измерительного щупа от суппорта.

Основными преимуществами системы измерения являются: 1) более высокая скорость перемещения суппортов в процессе измерения, так как путь, который проходит измерительный щуп, достигает значительной величины; 2) возможность измерения радиального и торцового биений вращающегося колеса. Полученная при этом информация может служить для восстановления профиля с минимальным съемом материала при обработке, точного определения расстояния между торцовыми поверхностями колесных пар и для определения ползунов на поверхности катания колеса, которые представляют собой местные затвердения термического происхождения.

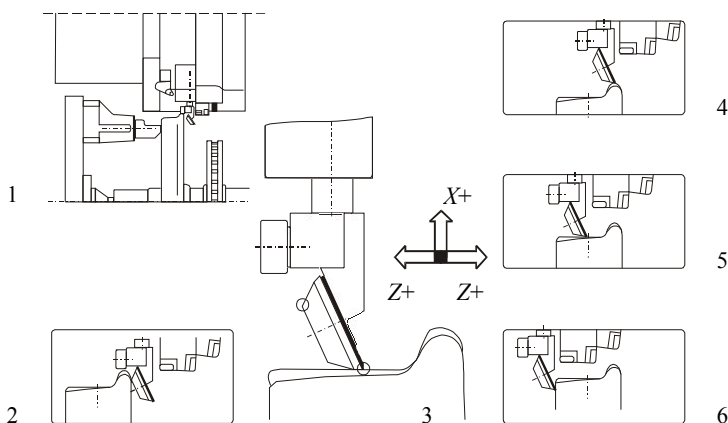


Рисунок 2.17 – Функциональное назначение измерительного щупа

На рисунке 2.17 (слева) показано применение измерительного щупа перед закреплением колесной пары на стадии ее позиционирования, когда совмещают ось вращения колесной пары и оси центров вращения колесоточкарного станка. Эта операция определяет способ крепления с помощью системы захватов колесной пары. При радиальном креплении требуется точное

позиционирование колесной пары относительно системы зажимных кулачков. Измерительный щуп, как показано на рисунке слева внизу, служит для коррекции положения колесной пары в продольном направлении.

После блокировки измеряют профиль колеса: в зоне гребня колеса измерения – в осевом направлении, а на поверхности катания колеса – в радиальном. Интерпретация измерений вычислительным устройством ЧПУ осуществляется непосредственно для каждого отдельного измерительного значения. Новые точки измерения устанавливаются не по жесткой схеме, а в соответствии с уже известной информацией о заданном профиле колеса. Обработку профиля колеса производят, исходя из условия сохранения максимального диаметра колеса.

Наряду с определением очертания профиля измерительный щуп используется также для определения ширины бандажа. Процесс измерения и, исходя из его результатов, обработка обода колеса полностью автоматизированы. С учетом измеренных величин здесь также на основании заданных технологических параметров разрабатывается программа обработки.

Станки с ЧПУ требуют постоянного автоматического самоконтроля и самоналадки в отличие от станков, управляемых вручную, поскольку отсутствует оператор для осуществления контроля, управления и регулировки. К традиционным контролирующим устройствам, которые подают соответствующий сигнал ("Проверка положения защитных кожухов и узлов станка", "Контроль давления в гидросистеме", "Контроль перемещения деталей станка"), добавлены новые устройства контроля и управления, связанные с поломкой инструмента и износом. С помощью программы, заложенной в логику блока управления циклом работы, проверяется надежность работы и точность исполнения.

В системе контроля за состоянием инструмента используются пьезо-кварцевые датчики, которые реагируют на статическую и динамическую составляющие силы резания. Возникающее при поломке инструмента внезапное изменение силы резания воспринимается автономным анализатором, подающим сигнал отказа.

Благодаря системе числового управления механизм подачи резца отключается, и резец отводится. Износ инструмента начинается с момента установки его, зарегистрированного в блоке. По истечении определенного периода эксплуатации посылается сигнал оператору или устройству автоматической смены инструмента.

В другом варианте смещение режущей кромки инструмента определяют в результате дополнительных измерений. Предусмотренная для этого программа действий описана (упрощенно) ниже. Прежде всего, повторно измеряют диаметры обработанных колес, далее сравнивают полученные размеры диаметров с допустимыми и коррелируют припуски при последнем проходе в месте измерения. Если такая проверка устанавливает износ инструмента (или смещение у вновь замененного инструмента), то обработку сле-

дующей колесной пары осуществляют при одинаковых условиях резания обоих колес, колесную пару измеряют и производят коррекцию длины инструмента, хранимой в памяти блока, на величину отклонения между заданным и фактическим значениями диаметра.

Полученную с помощью измерительных щупов и датчиков информацию необходимо проанализировать и переработать. Современные системы числового управления прошли путь от управляемых автоматов с жестко заданным циклом работы к системам обработки информации со счетно-решающими устройствами на уровне у п р а в л я е м ы х Э В М. Необходимая для обработки изделия программа дополняется логическими корректировками и вычислениями; в результате автоматически возникает множество вариантов обработки. Требуемые программы являются объемными и сложными, поэтому их целесообразно составлять на языке программирования более высокого уровня.

Станок для обточки колесных пар включает (при упрощенном рассмотрении) *четыре независимых вычислительных устройства* (ЭВМ). Два вычислительных устройства предназначены для управления процессом перемещения каждого из суппортов, третье управляет работой периферийных узлов, например шпиндельных головок и зажимных элементов, и связано с датчиками, а четвертое предусмотрено для связи с ЭВМ (системой обработки данных) и с оператором. Взаимодействие вычислительных устройств обеспечивается благодаря общим областям памяти. Такая структура позволяет осуществлять необходимые функции параллельно и одновременно.

Несмотря на автоматизацию процесса обработки измерений и контроля с помощью датчиков, большое значение придается, как и прежде, элементам управления и контроля с пульта управления. Наряду с функциями, осуществляющимися автоматически, без вмешательства оператора, реализовано управление станком вручную (его универсальность). Более того, оператор имеет возможность получить в любое время информацию о процессе обработки и вмешиваться в особых случаях в автоматически протекающий цикл работы, реализуя и изменяя его. Однако для этого необходимо предусмотреть простейшие решения, которые легко позволили бы оператору вносить соответствующие изменения в цикл. Применение в машиностроении традиционной схемы «деталь – на станок» вызывает необходимость в громоздком оборудовании при механосборочных работах на крупногабаритных механизмах и машинах. Базирование технологической оснастки на объекте обработки и управление пространственным положением последней позволяет обеспечить более высокие функциональную точность и качество технологических процессов.

Безрамная технология обработки изделий характеризуется использованием приставных, встраиваемых, навесных, подвижных станочных

модулей, обладающих высокой мобильностью. По сравнению с обрабатываемым объектом станочные модули небольшие, легко перемещаются с одного объекта на другой, базирование осуществляется по принципу «станок – на деталь».

При демонтаже и сборке тяжелых машин, установок и крупногабаритных изделий применение безрамной технологии в условиях эксплуатации часто является единственной возможностью обеспечения надежности их работы. Несмотря на большую экономическую эффективность, безрамная технология еще не нашла широкого применения. По существу она является новым направлением в общей технологии машиностроения, характеризуется комплексом тесно связанных между собой вопросов: приемы и методы выполнения технологических процессов, обеспечение рациональных параметров оснастки, включающей собственно станки, специальные устройства и приспособления, инструмент. Безрамная технология является перспективным средством для совершенствования производства во многих отраслях народного хозяйства, в том числе и в вагоностроении, и при ремонте вагонов.

Оценка с указанной точки зрения применяемого прессового оборудования вагоностроительных заводов при новом формировании колесных пар вагонов и вагоноремонтных предприятий, выполняющих ремонт колесных пар со сменой элементов, указывает на резервы повышения эффективности технологии формирования соединений колес с осями и демонтажа соединений, рационального использования производственных площадей колесных цехов.

Решение задачи изменения общей схемы сборки соединений колес с осями с применением навесной, малогабаритной технологической оснастки по принципу «станок – на деталь» с целью перехода к новой технологии формирования и демонтажа колесных пар вагонов позволяет:

- улучшить взаиморасположение (например, соосность, перпендикулярность) соединяемых деталей, повысить качество сборки-демонтажа и производительность процессов;

- применить более прогрессивную гидропрессовую сборку соединений с использованием высокого давления масла в зоне сопряжения по сравнению с механической запрессовкой;

- заменить громоздкое прессовое оборудование навешиваемой на оси формируемых колесных пар технологической оснасткой и за счет этого более рационально использовать имеющиеся производственные площади при увеличении выпуска сформированных колесных пар.

На кафедре «Вагоны» БелГУТа разработаны *технические средства сборки и демонтажа соединений колес с осями*, позволяющие повысить качество формирования сопряжений при изготовлении и ремонте колесных пар вагонов. Описываемая ниже малогабаритная технологическая оснастка для формирования соединений с натягом колесных пар вагонов относится к области сборки металлических деталей путем их расширения и последую-

щего сжатия при помощи гидравлических устройств. В основу предложенной конструкции заложено устройство для гидравлической запрессовки деталей типа «вал – втулка», осуществляемой с применением высокого давления жидкого минерального масла, нагнетаемого с торца охватывающей детали в зону сопряжения формируемого соединения, в котором реализуется «Способ напрессовки цилиндрических втулок на оси». В разработанном устройстве используется гидроцилиндр высокого давления, устанавливаемый с возможностью перемещения его корпуса вместе с прикрепленной концентрично к торцу последнего напрессовываемой деталью относительно направляющего штока, скрепленного соосно с сопрягаемым валом. Внутри корпуса концентрично со штоком расположен дополнительный полый поршень, при перемещении которого вместе с направляющим штоком выполняется частичная механическая запрессовка втулки на сопрягаемый вал, обеспечивающая герметизацию зоны сопряжения для осуществления последующей основной гидропрессовой сборки формируемого соединения с гарантированным натягом. В процессе гидравлической напрессовки направляющий шток смещается внутрь корпуса гидроцилиндра, увлекая за собой сопрягаемый вал и перемещая последний относительно напрессовываемой втулки, при этом осуществляется сборка соединения в условиях гидрораспора между поверхностями контакта охватывающей и охватываемой деталей формируемой посадки с гарантированным натягом.

Отличительными признаками указанной конструкции являются:

– базирование рабочего цилиндра высокого давления на охватываемой детали формируемого соединения с натягом;

– направляющий ступенчатый шток, снабженный резьбой для соосного скрепления его с сопрягаемым валом и съемным упором, ограничивающим перемещение полого поршня начальной механической запрессовки;

– дополнительная полость противодвига для осуществления регулировки величины запрессовочного усилия гидропрессовой сборки;

– регулируемый монтажный зазор между торцом полого поршня и съемным упором штока, что позволяет изменять, при необходимости, длину начальной механической запрессовки.

Указанная совокупность признаков позволяет: повысить прочность получаемого сопряжения; исключить необходимость применения неподвижных опор направляющего штока гидроцилиндра и сопрягаемой оси (вала), что упрощает конструкцию, снижает металлоемкость прессового оборудования. Таким образом, предложенная *технологическая гидрофицированная оснастка* обеспечивает возможность использования безрамной технологии при гидропрессовом формировании соединений с гарантированным (0,10–0,25 мм) натягом колесных пар вагонов.

С целью расширения сферы применения гидропрессовой сборки – демонтажа соединений типа вал – втулка с помощью навесной технологической ос-

настки разработано *гидрофицированное устройство*, содержащее двухкамерный рабочий цилиндр высокого давления с направляющим ступенчатым штоком, закрепляемым соосно на торце шейки оси колесной пары, запрессовываемой в отверстие ступицы колеса. Корпус рабочего гидроцилиндра прижат к сопрягаемой ступице колеса на торцовом уплотнении, выдерживающем давление используемой гидросреды при помощи механизма прижатия.

Для повышения производительности технологического процесса гидропрессового формирования соединений с натягом за счет сокращения подготовительного времени на соосное закрепление напрессовываемой на вал втулки на торце рабочего гидроцилиндра и обеспечения возможности надежной установки крупногабаритных деталей (например, зубчатых колес большого диаметра, колес подвижного состава, дисков и пр.) использован механизм торцового прижатия деталей по техническому решению.

Таким образом, достигается новый положительный эффект процесса сборки путем совмещения технологической операции начальной механической запрессовки на сопрягаемый вал охватывающей детали с прижатием последней к торцу корпуса цилиндра за счет применения конструкции механизма закрепления деталей формируемых соединений, в силовой части которой использован плавающий поршень, размещенный в дополнительной полости рабочего гидроцилиндра высокого давления. *Технические преимущества данного устройства* для осуществления безрамной технологии формирования колесных пар подвижного состава рельсового транспорта по сравнению с упомянутым выше устройством заключаются: в сокращении затрат времени на дополнительные технологические операции по герметизации зоны сопряжения перед выполнением основной гидропрессовой сборки; в удобстве и плавности регулировки длины первоначального относительного смещения подвижных частей конструкции для частичной механической запрессовки. Кроме того, обеспечивается возможность распрессовки сформированных ранее соединений с гарантированным натягом при нагнетании масла высокого давления с торца сопряжения и аксиальном перемещении направляющего штока вместе с напрессовываемой осью колесной пары относительно корпуса гидроцилиндра с прикрепленным к нему колесом от давления масла более низкого давления, подаваемого от другого источника в полость противосдвига под ступенчатый шток. При этом предусматривается возможность регулирования величины аксиального усилия сдвига в зависимости от требуемого давления гидросреды в зоне контакта сопряженных поверхностей деталей соединений.

Для обеспечения рационального режима технологического процесса гидропрессовой сборки соединений (величина коэффициента трения сталь по стали – не более 0,02–0,05) величина диаметра d_0 рабочего гидроцилиндра должна определяться исходя из условия $d = (0,90...0,92)d_0$ при значениях коэффициента потерь тягового усилия $K = 0,05...0,20$. При значениях конст-

руктивного коэффициента $m_1 \leq 0,9$ необходимо ограничивать величину P , за счет использования давления масла в дополнительной полости противосдвига рабочего гидроцилиндра. В противном случае при гидропрессовании в зоне сопряжения соединяемых деталей кроме жидкостного трения может возникать и контактное трение в результате непосредственного соприкосновения посадочных поверхностей. Вместе с тем появление контакта в деформируемом монтажном зазоре в соединении при непрерывной смазке рабочих поверхностей (протекающей в зазоре жидкостью) может обуславливать только граничное трение, что препятствует повреждению поверхностей сопряжения деталей.

Закономерности физических процессов гидрораспора в соединениях с натягом осложняются механическим воздействием деталей на длине их металлического контакта. Численные значения проникающей способности гидросферы для участков непосредственного контакта деталей (контактного уплотнения сопряжения) определяются исходя из сложной функции. Нахождение такой функции затруднено отсутствием критериев, которые позволили бы определить приоритет входящих в нее параметров среды и контактирующих поверхностей как компонентов комплексного показателя – проникающей способности. Таким критерием могут служить результаты экспериментов.

Конструкция буксовых узлов колесных пар и технология их изготовления должны обеспечивать: надежную герметизацию, удобство и несложность монтажа-демонтажа, осмотр без полной разборки, взаимозаменяемость деталей букс. В буксах грузовых вагонов применяются радиальные роликовые подшипники: с короткими цилиндрическими роликами однорядные с однобортовым внутренним кольцом, с короткими цилиндрическими роликами однорядные с безбортовым внутренним кольцом.

Надежность работы роликовых подшипников зависит от точности изготовления и качества ремонта, правильности монтажа и ухода в эксплуатации. Подшипники (кольца и ролики) изготавливаются из хромистой стали ШХ-15 или ШХ-15СГ с содержанием углерода 0,95–1,1 %, хрома 1,3–1,65 %. Твердость колец HRC 60–63, роликов – HRC 61–64 единицы. При сборке подшипников (комплектовании) контролируются радиальные и осевые зазоры между роликами и кольцами. *Радиальный зазор* для роликовых подшипников на глухой подшипниковой посадке с диаметром наружного кольца 250 мм (горячая посадка внутренних колец на шейки осей) при изготовлении должны быть в пределах 0,09–0,17 мм, при ремонте – 0,09–0,25 мм.

Измеряют люфтомером или специальным приспособлением. Определяется как средняя арифметическая величина трех измерений при повороте наружного кольца подшипника на 120° вокруг оси. Разность крайних значений радиального зазора при трех измерениях щупом у цилиндрических подшипников качения не должна превышать 20 мкм. При несоответствии величины зазора установленным нормам выполняют перекомплектовку подшипника с

заменой наружного кольца, комплекта роликов или внутреннего кольца. Осевой зазор у новых подшипников должен быть не менее 0,06–0,15 мм, при ремонте – не менее 0,06 мм. Определяют при помощи щупа или на специальном приборе (зазор между торцами роликов и бортами наружных колец). Принимают наименьшее из трех измерений. Подшипники используют (при необходимости) после зачистки торцевой поверхности маркированного борта наружных колец на величину до 0,3 мм шлифовальной шкуркой № 10 на тканевой основе, а затем – № 6 с маслом и последующей притиркой пастой ГОИ.

В эксплуатации нередко отмечается грение роликовых букс колесных пар вагонов. Основные *причины, вызывающие грение* букс, следующие:

- заклинивание роликов при малых радиальных и осевых зазорах;
- выпадание роликов из гнезд сепараторов (ролики удерживаются в гнездах латунных сепараторов расчеканкой перемычек или со стороны торцов роликов);

- присутствие металлических включений (осколки и пр. при выкрошивании и изломе деталей из-за недоброкачественного металла и неточности монтажа);

- проворачивание внутренних колец подшипников на шейках осей из-за ослабления горячей посадки (натяг 0,04–0,06 мм);

- отсутствие, недостаток, затвердение, загрязнение или избыток смазки (если грение не прекращается после смены или добавления смазки, а также после обнаружения в смазке посторонних включений, колесная пара изымается из эксплуатации и направляется на полную ревизию буксового узла);

- наличие смазки в лабиринтном уплотнении буксы (при ослаблении посадки отъемного лабиринта букса бракуется при ремонте);

- заедание в лабиринте при отсутствии зазора между лабиринтной частью корпуса буксы и лабиринтным кольцом;

- неправильная сборка тележки вагона (перекос рамы) и др.

У роликовых колесных пар вагонов отмечают следующие *неисправности подшипников качения*:

- полное разрушение подшипников;

- усталостные и коррозионные раковины на дорожках качения наружного и внутреннего колец и поверхности роликов;

- трещины и разрывы внутреннего кольца;

- трещины и отколы бортов внутреннего и наружного колец;

- трещины и сколы ролика;

- трещины и изломы сепаратора и его перемычек;

- потеря посадочного натяга;

- задиры на дорожке качения внутреннего кольца, поверхности ролика, борта кольца, торцов роликов;

- следы перегрева колец (цвета побежалости);

- электроожоги и вмятины на дорожках качения и поверхностях роликов;

- коррозия на посадочных поверхностях наружного и внутреннего колец;
- выпадание роликов.

Техническое содержание вагонных букс с роликовыми подшипниками регламентировано *Инструктивными указаниями по эксплуатации и ремонту вагонных букс с роликовыми подшипниками*. Выполняются полная и промежуточная ревизии буксовых узлов колесных пар вагонов.

Для **ремонта букс с роликовыми подшипниками в депо** предназначены три ремонтных отделения: демонтажное, ремонтно-комплектовочное и монтажное.

Демонтажное отделение имеет следующее оборудование: кран-балку; сдвоенный путь для накопления колесных пар, ожидающий демонтажа роликовых букс; моечные машины для обмывки корпусов букс и роликовых подшипников; стеллажи для деталей роликовых букс; стенд для демонтажа роликовых букс. Бывшие в эксплуатации подшипники промывают, просушивают и осматривают для установления годности их к дальнейшей эксплуатации. Демонтаж и промывка роликовых букс колесных пар могут производиться на производственных площадях колесного и тележечного участков. Демонтированные подшипники промывают эмульсией (8–10 % железнодорожной смазки ЛЗ-ЦНИИ в воде) в автоматических моечных машинах конвейерного или камерного типов, протирают и осматривают для определения объема ремонта (с переборкой роликов или без переборки) и дефектовки. При дефектовке подшипников бракованные детали (кольца, сепараторы, ролики) заменяют новыми или годными из числа бывших в эксплуатации, удовлетворяющих требованиям комплектации.

Магнитную дефектоскопию для выявления трещин в кольцах и роликах подшипников качения колесных пар вагонов выполняют «мокрым способом» на установках, состоящих из стенда для намагничивания, стола для осмотра намагниченных деталей, демагнетизатора. В проверяемой детали возбуждаются одновременно два магнитных поля, магнитные линии которых взаимно перпендикулярны (комбинированный способ магнитной дефектоскопии), – полюсное (или нормальное намагничивание вдоль оси) и циркуляционное (или круговое намагничивание). Намагничивание выполняется импульсным током (ток большой силы и низкого напряжения в тысячные доли секунды). Источник импульсов – разряд батареи конденсаторов или, например, четыре диода Д246А с импульсом 15000–20000 А.

При неполном размагничивании к детали могут «прилипнуть» металлические частицы, образующиеся от истирания в процессе эксплуатации, что приводит к ускоренному износу подшипниковых узлов колесных пар вагонов. Демагнетизатор состоит из соленоида, в котором имеется лоток для перемещения деталей подшипников качения. Размагничивание осуществляется воздействием на деталь переменного по направлению и постоянно уменьшающегося по величине магнитного поля.

Годные для комплектования ролики сортируют по наибольшему диаметру. Для сортировки применяют приборы УД1, ДЗ12-2м, Д-264 и другие с измерительной головкой с плоским наконечником. По наибольшему диаметру одного ролика, принятого за эталон для данной группы, настраивают на нулевое положение миниметр прибора УД1 или ДЗ12. Остальные ролики комплектуемых подшипников измеряют и сортируют на группы в пределах 8 мкм. При комплектовании в одном подшипнике должны быть ролики одной группы. При необходимости замены у демонтируемого подшипника внутреннего кольца новое кольцо подбирают в таком же порядке, как и наружное. Забракованное кольцо устанавливают на прибор 064-2м (плита), и измеряют диаметр дорожки качения. Зная радиальный зазор, который был у неисправного подшипника до его разборки, на этой же плите подбирают другое кольцо с таким расчетом, чтобы после сборки подшипника его радиальный зазор был в пределах от 0,12 до 0,25 мм (например, если демонтируемый подшипник до разборки имел радиальный зазор 0,2 мм, то вновь подбираемое для замены кольцо будет считаться годным, когда при замере на приборе стрелка измерительной головки отклоняется от нулевого положения на плюс 0,05 или минус 0,08 мм). Электронное оборудование для контроля деталей роликовых подшипников обеспечивает более высокую точность и надежность технологического процесса ремонта буксовых узлов колесных пар вагонов в депо и на заводах.

Сепараторы подшипников качения проверяют по номинальному размеру внутреннего диаметра. Сепараторы, имеющие деформацию перемычек, приводящую к выпаданию роликов, бракуют. Сепараторы с острыми углами у перемычек ремонтируют. Контроль латунных сепараторов вагонных буксовых узлов колесных пар с роликовыми подшипниками для выявления поверхностных трещин в местах сопряжения перемычек с основанием сепаратора производят при помощи вихревого дефектоскопа ВД-18НФ с питанием от сети 220 В и 50 Гц. В установку контроля входят дополнительно электронный блок (270 x 260 x 165 мм, массой 4 кг) и сканирующее устройство (250 x 214 x 270, массой 11 кг). Производительность процесса проверки – 1 сепаратор за 2 мин. Проверяемый зазор – не более 0,25 мм. Кроме магнитного контроля роликов может предусматриваться также контроль вихревыми токами при помощи установки по ТУ32 ЦНИИ-82-91 с дефектоскопом ВД-13НФ, блоками. Производительность процесса контроля – 14 роликов за 150 секунд (шероховатость поверхности – $R_a = 2,5$ мкм). Назначение указанной установки – выявление поверхностных трещин роликов вагонного буксового подшипника.

В комплектовочном отделении устанавливают: стол для осмотра корпусов букс; стеллаж для хранения подшипников; стол для разборки и осмотра подшипников; станок для зачистки деталей подшипников; дефектоскопы для испытания колец роликовых подшипников, роликов и се-

параторов. Отремонтированные подшипники осматривают и проверяют по радиальному и осевому зазорам. Собранный цилиндрический подшипник устанавливают на столе в рабочем положении, затем от руки поворачивают внутреннее кольцо, проверяя на легкость вращения. Подшипник должен иметь ровный, без заедания ход. На отремонтированный подшипник наносят следующую запись на наружном кольце: ставят букву *P*, месяц римскими цифрами, две последние цифры текущего года, условный номер вагоноремонтного предприятия (в данном случае ВЧД), производившего ремонт. Надписи на кольцах производят электрографом на разобранном подшипнике или при помощи кислоты (азотная кислота – 370 см³, вода – 630 см³, никель азотнокислый – 95 г, висмут азотнокислый – 5 г) на собранном подшипнике. Через 3–5 минут после нанесения надписи для нейтрализации кислоты место надписи протирают мыльной пеной или машинным маслом.

Учет отремонтированных подшипников ведется в журнале формы ВУ-93. Отремонтированные подшипники, которые не сразу устанавливают в буксы колесных пар вагонов, подлежат консервации (годные подшипники не позже чем через 5 ч после промывки смазывают трансформаторным маслом, а при хранении свыше 5 суток покрывают техническим вазелином и используют для монтажа или укладывают на закрывающиеся стеллажи). При длительном хранении подшипников в качестве предохранительной смазки от действия коррозии применяют смазку ПП-95/5 (ГОСТ 4113).

Возможность механического повреждения подшипников должна быть исключена. Хранение подшипников осуществляется в отопляемом помещении с температурой воздуха не ниже +10 °С без резких колебаний температуры, без проникновения в помещение паров, газов, пыли и пр. В комплектном, монтажном отделениях (в помещениях, где хранятся подшипники и детали букс) запрещается курить и зажигать огонь. В монтажном отделении разрешается хранить детали буксового роликового узла, промытые, проверенные и годные к монтажу.

Для смазывания дорожек качения и торцов роликов применяют дизельные М-12Б, М-12В или цилиндровые марки 52 или 38 масла. Перед заправкой букс железнодорожной смазкой ЛЗ-ЦНИИ для создания однородности ее следует пропускать через аппарат для гомогенизации. Перед применением проверяют соответствие данных сертификата на смазку требованиям ГОСТа, при отсутствии сертификата смазка должна быть проверена в лаборатории. Не допускается загрязнение смазки механическими примесями и ее обводнение.

Автоматические поточные линии по ремонту роликовых колесных пар с полной ревизией буксовых узлов могут иметь производительность до 10 кол. пар/ч. Схема подобной линии приведена на рисунке 2.18.

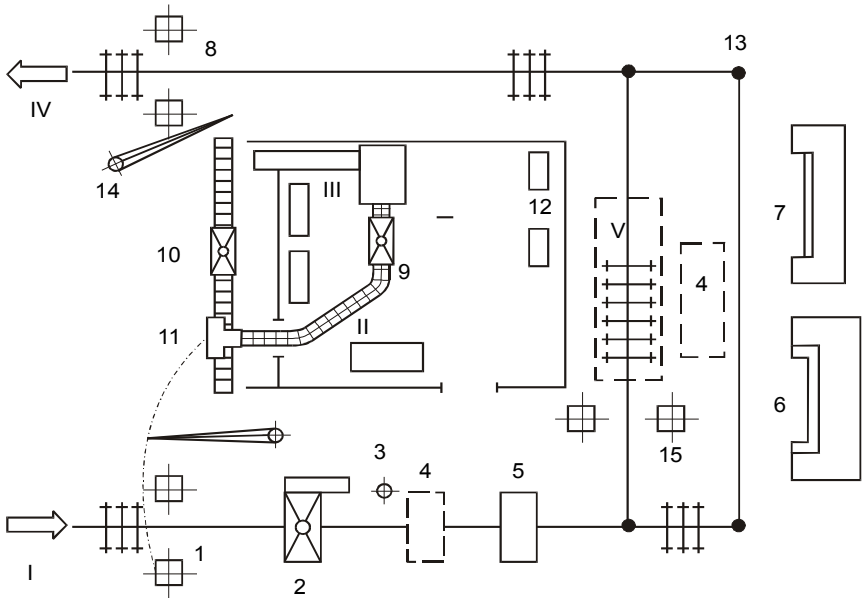


Рисунок 2.18 – Схема поточной линии ремонта колесных пар с роликовыми буксами без смены элементов:

I – демонтажное отделение; II – отделение обмывки; III – ремонтно-комплектовочное отделение; IV – отделение монтажа роликовых букс; V – площадка промежуточной ревизии буксовых узлов колесных пар; 1, 8 – установки для отвертывания болтов крепительных крышек стопорных планок, гаек торцевого крепления и шайб; 2 – моечная машина колесных пар; 3 – индукционные нагреватели; 4 – установка для дефектоскопии колесных пар; 5 – стенд для обмера колесных пар; 6 – колесотокарный станок; 7 – шеечно-накатной станок; 9 – моечная установка для роликовых подшипников; 10 – моечная установка для корпусов букс; 11 – устройство для выпрессовки наружных колец с сепараторами и роликами из корпусов букс; 12 – установка для дефектоскопии колец, роликов и сепараторов подшипников; 13 – подъемно-поворотное устройство с толкателями для колесных пар; 14 – манипулятор КШ-250; 15 – установка для предремонтной технической диагностики роликовых буксовых узлов

Компоновочный план участка ремонта колесных пар вагонов с роликовыми подшипниками и схема технологической планировки приведены на рисунке 2.19, где I – колесотокарное отделение; II – отделение очистки колесных пар; III – отделение промежуточной ревизии буксовых узлов с роликовыми подшипниками; IV – демонтажное отделение; V – отделение обмывки колесных пар, букс и роликовых подшипников; VI – отделение ремонта и комплектовки подшипников; VII – монтажное отделение; VIII – парк колесных пар; А – поступление колесных пар, требующих освидетельствования и ремонта без смены элементов; Б – выпуск отремонтированных колесных пар с роликовыми подшипниками; 1 – козловой кран грузоподъемностью 5 т; 2 – транспортер для удаления стружки от колесотокарных станков; 3 – станок ко-

лесотокарный; 4 – шеечно-накатной станок; 5 – кран-балка; 6 – кран консольный на колонне; 7 – стенд для магнитной дефектоскопии; 8 – ультразвуковой дефектоскоп; 9 – машина для обмывки колесных пар; 10 – моечная машина для корпусов букс; 11 – моечная машина для роликовых подшипников; 12 – установка для выпрессовки наружных колец подшипников; 13 – установка для очистки корпусов букс; 14 – стенд для демонтажа буксовых узлов; 15 – нагреватель индукционный; 16 – площадка накопления; 17 – шкаф; 18 – манипулятор КШ-250; 19 – установка для механической очистки колесных пар; 20 – установка для рассверловки; 21 – конвейер; 22 – стеллаж для букс с наружными кольцами подшипников; 23 – стеллаж; 24 – емкость для смазки; 25 – аппарат для гомогенизации смазки; 26 – электрошкаф для нагрева внутренних колец подшипников; 27 – стол-верстак комплектовки подшипников; 28 – верстак; 29 – приборы для замеров роликов; 30 – приборы для замеров колец; 31 – заточной станок; 32, 33 – установки для зачистки колец и роликов; 34 – шкаф силовой; 35 – камера окраски и сушки колесных пар; 36 – подъемно-поворотное устройство; 37 – стол; 38 – стенд для диагностирования подшипников; 39 – утиль-площадка; 40 – стенд для монтажа буксовых узлов; 41 – дозатор для смазки; 42 – подъемник колесных пар.

Длина участка определяется планировкой и размещением оборудования, разборочных, ремонтных и сборочных (комплектующих) отделений, поточных линий, рабочих мест и технологических площадок. При планировке и компоновке оборудования необходимо соблюдать последовательность его размещения по ходу выполнения технологического процесса, обеспечивая не только прямоточность производства и наиболее рациональную специализацию работ, но и наилучшее использование технологического и подъемно-транспортного оборудования. Для укрупненных подсчетов рекомендуется руководствоваться нормами технологического проектирования.

Высоту отделений принимают с учетом установки необходимого подъемно-транспортного оборудования. По нормам технологического проектирования высота роликового участка грузового вагонного депо от головки рельсов до верха подкранового пути должна быть не менее 4600 мм, а до низа конструкции перекрытия – 6000 мм, для реконструируемых депо – соответственно 4100 и 5500 мм. Для размещения запаса исправных и подлежащих ремонту колесных пар, а также неисправных колесных пар, ожидающих переформирования, служит колесно-тележечный парк депо, который размещается непосредственно у колесного и тележечного участков и перекрывается общим мостовым (козловым) краном грузоподъемностью 5 тонн.

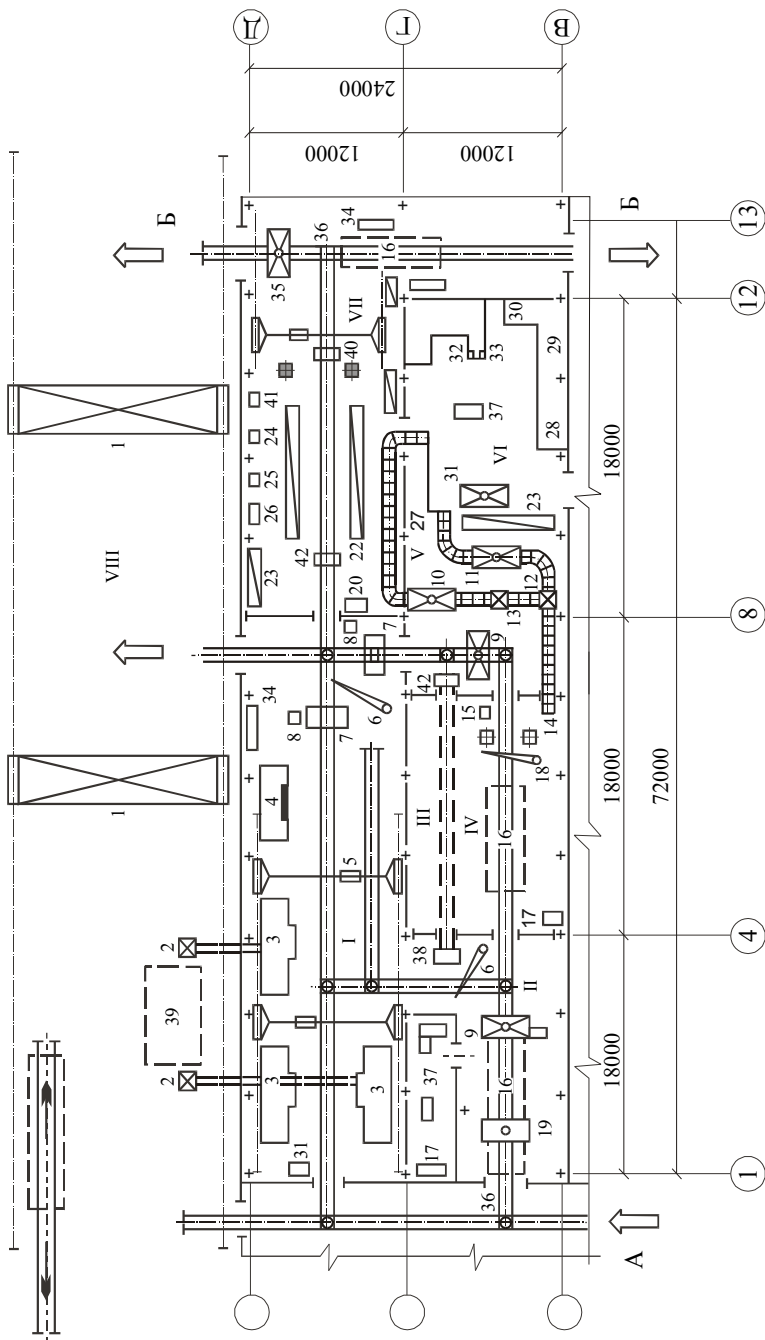


Рисунок 2.19 – Схема технологической планировки специализированного участка по ремонту колесных пар и буксовых узлов с роликовыми подшипниками

2.3.3 Участок по ремонту букс

Полную ревизию роликовых букс с роликовыми подшипниками выполняют при *полном освидетельствовании колесных пар*:

- через одну обточку по предельному прокату или другим неисправностям поверхности катания колес;
- при капитальном ремонте вагонов;
- при неясности клейм и знаков последнего полного освидетельствования на торце шейки оси;
- при деповском ремонте грузовых вагонов (колесных пар, проработавших в эксплуатации после последнего освидетельствования шесть и более лет; колесные пары с роликовыми подшипниками, простоявшие в резерве шесть и более лет после последнего (полного) освидетельствования, при подкатке под вагоны подвергаются полной ревизии букс, а не бывшие в эксплуатации и простоявшие в резерве менее шести лет – осмотру без освидетельствования, а также промежуточной ревизии буксовых узлов);
- при формировании и ремонте колесных пар со сменой элементов;
- после схода вагона с рельсов у колесной пары сошедшей тележки; у поврежденных вагонов после крушения, аварии, маневровой работе;
- при наличии ползуна на поверхности катания глубиной более 3 мм, при недопустимом нагреве буксы или повреждении буксового узла, требующем демонтажа буксы;
- при сварочных работах на вагоне или тележке, выполняемых с нарушением установленных правил (электроожоги на поверхностях деталей роликовых подшипников).

При неисправности одной буксы обязательно проводят полную ревизию второй буксы колесной пары под непосредственным руководством и контролем мастера или бригадира, имеющих удостоверения о сдаче испытаний на право полного освидетельствования колесных пар вагонов и полной ревизии буксового узла. Исполнители работ по монтажу, промежуточной ревизии и ремонту подшипников качения также должны сдать испытания и иметь удостоверения на право полной и промежуточной ревизии, осмотра и ремонта подшипников. При полной ревизии букс производят следующие работы в *специализированных отделениях участка ремонта буксовых узлов колесных пар с роликовыми подшипниками*:

- демонтаж букс с подшипниками на горячей посадке без снятия внутренних и лабиринтных колец при условии проверки оси специальным щупом ультразвукового дефектоскопа;
- промывку, осмотр и проверку подшипников и других деталей буксового узла и колесных пар;
- ремонт деталей буксового узла и колесных пар;

- измерение радиальных и осевых зазоров, посадочных отверстий внутренних колец подшипников;
- монтаж буксовых узлов колесных пар.

После монтажа буксы устанавливают бирку из листовой стали на левых верхних болтах крепительной крышки правой шейки оси колесной пары и загибают на верхнюю плоскость прилива корпуса (при креплении одним болтом – не загибают). На бирке выбивают номер оси, дату полного освидетельствования (месяц и две последние цифры года) и номер пункта, производившего полное освидетельствование колесной пары и монтаж букс. Данные полной ревизии букс записывают в журнал учета формы ВУ-90.

Промежуточная ревизия преследует цель выявить:

- состояние смазки (если в смазке обнаружена грязь, металлические включения или механические примеси, то буксу подвергают полной ревизии);
- техническое состояние переднего подшипника (при обнаружении дефектов сепаратора, внутреннего и наружного колец буксу подвергают полной ревизии);
- техническое состояние стопорной планки и торцевой шайбы, а также болтов их крепления. В случае необходимости в буксу добавляют свежую смазку в количестве, достаточном для заполнения 1/3 пространства передней части буксы.

Промежуточную ревизию букс производят: а) при обточке колесных пар без демонтажа букс; б) при обыкновенном освидетельствовании колесных пар; в) в качестве профилактической меры по отдельным указаниям. Колесные пары, направляемые на промежуточную ревизию, обмывают только после герметизации букс. Обмытую в моечной машине колесную пару перед ревизией подвергают технической диагностике на стенде или проверяют вращение буксы. При вращении буксы с толчками и ненормальным шумом колесную пару направляют на полную ревизию буксового узла.

При промежуточной ревизии снимают крышку буксы. Места прилегания крышки очищают от загрязнений. Укладывают снятую крышку буксы в закрываемый ящик внутренней стороной вверх. Из передней части вскрытой буксы смазку перекалывают в снятую крышку, соблюдая условия, исключая попадание в буксу и смазку загрязнений (для возможности дальнейшего использования). При осмотре буксы визуально определяют состояние смазки. При хорошем состоянии смазки (отсутствие стальных, латунных включений и других примесей, сохранение пластичности), продолжают осмотр (потемнение консистентной железнодорожной смазки ЛЗ-ЦНИИ от светло-желтого или темно-желтого исходного цвета не считается браковочным признаком). Проверяют состояние переднего подшипника (не допускаются излом сепаратора, внутреннего кольца или другие дефекты). При удовлетворительном состоянии подшипника обстукиванием контролируют затяжку болтов стопорной планки или тарельчатой крепежной шайбы с бол-

тами М20, надежность крепления торцевой гайки (проверку производят в обе стороны вращения гайки ударами молотка через оправку). Ослабшую гайку торцевого крепления подшипников снимают. Колесная пара и гайка с поврежденной резьбой к дальнейшей эксплуатации не допускаются. Ослабшие болты подтягивают, неисправные болты и проволоку болтов стопорной планки заменяют, под болты ставят пружинные шайбы.

При *обыкновенном освидетельствовании колесных пар* в торцевом креплении подшипников на горячей посадке корончатой гайкой независимо от состояния крепления снимают стопорную планку и подтягивают гайку. Ослабшие гайки (вращающиеся от руки) снимают. Колесные пары и гайки с поврежденной резьбой к дальнейшей эксплуатации не допускаются. При исправном состоянии резьбы производят затяжку гайки и устанавливают стопорную планку. У колесных пар с торцевым креплением шайбой освобождают болты (М20) от стопорения и динамометрическим ключом проверяют затяжку [при наличии хотя бы одного болта с крутящим моментом менее $M_{кр} = 49$ кН·м (5 кгс·м) все болты вывертывают, при обнаружении задиров или других повреждений болты М20 к дальнейшей эксплуатации не допускаются]. При обнаружении срыва более трех первых ниток резьбы в отверстиях шейки оси допускается исправление внутренней резьбы метчиком М20 (более шести поврежденных ниток резьбы – брак).

Обточку поверхности катания колес производят при снятой крышке буксы. Взамен снятой смотровой или крепительной крышки устанавливают временную технологическую крышку с центральным отверстием для прохода центра колесотокарного станка. После обточки профиля катания колес снимают технологическую крышку, проверяют состояние смазки, надежность торцевого крепления гайкой или шайбой. На торцевой шайбе левой шейки оси выбивают клеймо «О» об обточке, условный номер пункта, месяц и две последние цифры года. Ставят на место крышку буксы (между крепительной крышкой и корпусом буксы устанавливают резиновое кольцо). На прикрепляемой под болты крышки бирке делают отметку об обточке («О», месяц, год, номер пункта, производившего обточку без демонтажа букс). Данные об обточке и ревизии записывают в журнал учета формы ВУ-92. О проведении всех видов промежуточной ревизии букс на крышке буксы правой шейки оси вверху наносят масляной краской надпись.

Случаи отказов буксовых узлов с тепловой посадкой внутренних колец на шейки осей не носят массового характера, но представляют реальную угрозу для безопасности движения поездов. Этот показатель на дорогах нашей страны почти в 10 раз меньше, чем на дорогах США, и почти одинаков с числом отцепок вагонов на железных дорогах Германии. К основным неисправностям буксовых узлов, вызывающим недопустимый нагрев букс и отцепку вагона в пути следования, можно отнести скол борта внутреннего кольца, составляющего в среднем для буксовых узлов грузовых вагонов

3,7 % [42]. Скол борта происходит по шагу роликов, трещина начинает развиваться в технологической выкружке (галтели) и выходит на внешнюю торцовую поверхность борта, как правило, в месте образования ступеньки намина от контакта с лабиринтным кольцом. Это разрушение происходит из-за образования при изготовлении колец мест повышенных напряжений в зоне выкружки.

Для исключения случаев скола борта внутреннего кольца наряду с переходом подшипниковой промышленности на новую сталь ШХ4 вагоностроительные и вагоноремонтные заводы изготавливают новые лабиринтные кольца, у которых опорная поверхность внутреннего кольца контактирует по всей высоте борта. Разрыв кольца на шейке подшипника создает мгновенное заклинивание роликов из-за уменьшения или исчезновения радиального зазора. Шейка оси колесной пары начинает вращаться внутри кольца подшипника. У поврежденного кольца можно обнаружить хотя бы одну часть со стреловидной трещиной и с гладкими краями. Такое разрушение свидетельствует о том, что излом кольца произошел в холодном состоянии, а затем уже разрушился весь подшипник. При втором виде повреждения происходит полное заклинивание роликов в радиальном направлении, так как лопнувшее внутреннее кольцо подшипника не вращается на шейке оси колесной пары. На поверхностях заклиненных роликов образуются ползуны, а ролики, расположенные в ненагруженной зоне, практически не получают повреждений. Оплавляется сепаратор в нагруженной зоне, а на дорожке качения внутреннего кольца остаются следы проскальзывания роликов, наплывы металла, поверхность колец покрывается сеткой извилистых рваных трещин. Разрыв внутренних колец составляет для букс грузовых вагонов в среднем 5,5 %. Ослабление натяга посадки внутреннего кольца для роликовых букс грузовых вагонов равно 17,8 %. Чаще всего причину проворота внутреннего кольца можно обнаружить при проведении полной ревизии буксы. Если остальные детали буксового узла исправны и смазка в хорошем состоянии, в большинстве случаев проворот вызван неправильным подбором посадочного натяга. При длительном проворачивании кольца происходит ступенчатый износ шейки, контактирующие поверхности становятся гладкими, зеркальными. Такой износ происходит, если трущиеся поверхности разделены слоем смазки и кольцо работает как подшипник скольжения. В результате ступенчатого износа шейки перегружаются ролики и дорожки качения внутреннего и наружного колец. В тех случаях, когда внутреннее кольцо вращается на шейке оси в условиях сухого трения, характер повреждений резко отличается. Все детали подшипника теряют начальную форму, оплавляются латунью, покрываются окалиной. При таком повреждении одного подшипника рядом стоящий подшипник также приходит в полную негодность. Возможен излом шейки оси.

Результаты исследований показывают, что большинство подшипников бракуется по состоянию внутренних колец в первый год эксплуатации при пробеге до 200 тыс. км, а следовательно, повреждения не являются усталостными. Решающее влияние на работоспособность внутренних колец оказывают не эксплуатационные, а технологические факторы. Ежегодно примерно 1/3 всех отцепок, связанных с состоянием буксового узла, происходит в первые 6 месяцев после ремонта, что свидетельствует о неудовлетворительном качестве ремонта и недостатках формирования соединений с гарантированным натягом. Монтаж роликовых букс требует строго регламентированных значений температур при сборке, т. к. даже незначительная разница температур 5 °С вызывает изменение натяга на 25 %. Из-за неправильного подбора посадочного натяга происходит проворот внутреннего кольца подшипника на шейке оси.

Разрушение подшипников в эксплуатации стремительно ускоряется, если в роликовой буксе возникает сухое трение скольжения (роликов по дорожке качения внутреннего кольца подшипника, внутреннего кольца по шейке оси). Темп нарастания температуры буксового узла может достигать 20 °С в минуту во время движения поезда со скоростью 100 км/ч при разрушении подшипника. Воздействие высоких температур вызывает изменение структуры металла и его механических свойств, что практически исключает возможность проведения каких-либо металлографических и метрологических обследований. Причины разрушения в начальной стадии, когда сохранена смазка и детали подшипников не успели прийти в полную непригодность, выявляют КТСМ и осмотрщики вагонов по внешним признакам (под вагоном при его движении или на стоянке).

Причины, вызывающие разрушение буксового узла с подшипниками на горячей посадке и приводящие к излому шейки оси, следующие: ослабление торцевого крепления; проворот внутреннего кольца на шейке оси из-за ослабления натяга; усталостное разрушение сепаратора, обводнение смазки; разрыв внутреннего кольца; скол борта внутреннего кольца; заклинивание роликов между бортами наружного кольца.

Ослабление торцевого крепления является следствием некачественного изготовления резьбы и нарушения технологии заворачивания гайки на ВСЗ и ремонтных предприятиях, а также повреждения резьбы при расформировании колесных пар.

В случае нарушения торцевого крепления, когда букса ничем не удерживается на шейке оси, буксовый узел еще длительное время может быть работоспособен благодаря конструктивным особенностям тележки типа ЦНИИ-ХЗ. Наибольшее сползание буксы с оси может составить около 40 мм. При этом ролики переднего подшипника сдвигаются более чем на половину длины, за-

висают в воздухе и обездруживаются. Под радиальной нагрузкой оказывается вся вторая половина.

Ролики заднего подшипника повисают над скосом своего внутреннего кольца. В худшем случае могут упереться в скос внутреннего кольца переднего подшипника (отколы торцов сразу у многих роликов заднего подшипника; у переднего подшипника хорошо сохраняются те части роликов, которые повисли).

Конечная стадия смещенного положения буксы с поврежденными роликами – излом шейки оси в зоне стыковки двух внутренних колец. Но до этого начинает вращаться внутреннее кольцо переднего подшипника.

Первым начинает разрушаться тот подшипник, у которого наибольшие повреждения и где видны следы перегрева деталей. Если оба внутренних кольца проворачивались на шейке, где износ последней максимальный, то там и началось разрушение.

Проворот внутреннего кольца подшипника вызывают: погрешности замеров из-за несоблюдения температурного режима при измерениях и использования несоответствующих требованиям (по ремонту и монтажу буксовых узлов) мерительных инструментов; ослабление гайки М110 × 4 торцевого крепления буксы (первым начинает вращаться на шейке оси внутреннее кольцо переднего 232726 А1М подшипника); потеря натяга из-за структурных превращений в стали при высоком содержании остаточного аустенита у колец подшипников 232726 А1М, изготовленных на заводах Польши.

Основной причиной поворота внутреннего кольца является неправильный подбор натяга. Длительное поворачивание вызывает ступенчатый износ (иногда на глубину до нескольких миллиметров). При ступенчатом износе шейки буксы наклоняется и перегружаются ролики и дорожки качения внутреннего и наружного колец рядом расположенного подшипника. Ускоренное (усталостное) выкрошивание дорожки качения внутреннего кольца свидетельствует, что дефект располагается вблизи вращающегося кольца, т. е. в зоне приложения максимальных радиальных нагрузок.

При сухом трении вращающегося кольца разрушение происходит стремительно, температура нагрева всего узла достигает нескольких сотен градусов, при этом: а) внутреннее кольцо в наружной зоне резко уменьшается по толщине из-за износа шейки оси. Здесь большое количество извилистых трещин, на дорожке качения вмятины от роликов (в нижней зоне кольца таких дефектов нет); б) ролики деформированы (расплющены) от вдавливания в дорожку качения внутреннего кольца; на них видны по два сегментных следа от одновременного контакта с обоими бортами наружного кольца. Другая часть роликов, находящихся в ненагруженной зоне,

никаких повреждений не имеет: торцы не имеют следов, форма цилиндра сохранена; в) наружное кольцо может не иметь видимых повреждений, но на обоих бортах сохраняются отпечатки от контакта с остановившимися роликами.

При указанных повреждениях одного из подшипников, как отмечалось выше, рядом стоящий подшипник также приходит в полную негодность. Если первым начинает разрушаться передний подшипник, излом шейки происходит в зоне стыковки двух внутренних колец.

Разрушение латунного сепаратора характерно для букс пассажирских вагонов. Оно происходит вследствие возникновения чрезмерных напряжений, главным образом, в зимний период года, когда существенно возрастают динамические усилия на ходовые части, и особенно при наличии каких-либо геометрических неровностей на поверхности катания колесных пар. В этих экстремальных условиях проявляется недостаточная прочность сепараторов из-за возможного наличия трещин в углах их окон, не выявленных при изготовлении или ремонте.

Разрушения сепараторов цилиндрических роликовых подшипников 232726 (передний) и 42726 (задний) связаны с нарушением технологии их изготовления. При изломе сепаратора вследствие нарушения соотношения частот вращения сепаратора и шейки оси начинается резкое увеличение проскальзывания роликов по дорожке качения внутреннего кольца. Это сопровождается возникновением многочисленных ползунов на роликах, задиры и наплывов металла на внутреннем кольце. Вследствие повышения температуры на торцах роликов и обоих бортах наружного кольца возникают грубые задиры и заусенцы; оплавившиеся и поврежденные кусочки сепаратора оказываются в любой зоне подшипника. Внутреннее кольцо покрывается сеткой извилистых трещин.

При *обводнении смазки* главным отличительным признаком является цвет смазки, отличающийся от темно-желтого. В условиях недостатка смазки увеличивается проскальзывание роликов. Интенсивно повреждаются торцы роликов и соответствующие борта колец; наблюдается износ центрирующих поверхностей и перемычек сепаратора. Продукты износа обильно поступают в разжиженную смазку и выбрасываются на диск колеса и обод, придавая им золотистую окраску. Результат проскальзывания роликов: а) многочисленные ползуны; б) на дорожках качения внутреннего кольца – задиры и наволакивание металла; в) излом сепаратора у основания и у перемычек. Дальнейшая динамика повреждений: проворот внутренних колец, поперечные и продольные трещины наружного кольца, развальцовка развалившегося на куски сепаратора. На уцелевших кусках сепаратора можно найти ступеньку износа на центрирующей поверхности и

на перемычке, что свидетельствует о недостатке смазки при ее обводнении. Обводнение смазки является следствием недостаточной герметизации крепительной и смотровой крышек.

Трещина внутреннего кольца подшипника возникает в начальный период эксплуатации из-за завышенных натягов, а также из-за чрезмерных внутренних напряжений технологического происхождения от термообработки и шлифовки.

Скол борта внутреннего кольца заднего подшипника 42726 ЛМ является следствием некачественного изготовления.

При недостаточном осевом зазоре в процессе монтажа, а также в эксплуатации начальный осевой зазор полностью выбирается, и *ролики заклиниваются* по торцам между бортами наружного кольца. На торцах роликов и на обоих бортах образуются сильные задиры и заусенцы, на роликах – ползуны, на дорожке внутреннего кольца подшипника – наплывы металла и задиры, на сепараторе – следы грубого износа от металлических включений в смазке. Постоянная осевая перегрузка одного из подшипников вызывает ступенчатый износ роликов по торцам (в одной буксе).

Односторонняя перегрузка подшипников обусловливается разницей колес по кругу катания.

В связи с тем, что единственным контролируемым параметром при горячей посадке внутреннего кольца является натяг, необходимы мероприятия по обеспечению контроля за процессом сборки. При горячей посадке подобный контроль и оценка исходной прочности соединения не представляются возможными. Одним из направлений повышения работоспособности буксового узла является применение способа посадки внутренних колец, позволяющего устранить перечисленные недостатки. Таким способом может быть гидропрессовая сборка с торцовым подводом смазки к сопрягаемым поверхностям. Гидравлическая напрессовка внутренних колец роликовых подшипников на шейке осей колесных пар с использованием торцового подвода масла под высоким давлением в зону сопряжения позволяет осуществлять контроль за исходной прочностью сопряжения деталей в процессе сборки соединений по индикаторным диаграммам, аналогичным диаграммам формирования колесных пар вагонов механической запрессовкой. Это позволяет при сборке исключить соединения с ослабленными или завышенными натягами в сопряжении колец подшипников с шейками осей колесных пар, повысить надежность ходовых частей вагонов в эксплуатации.

Основное технологическое оборудование, необходимое для выполнения заданной ремонтной программы на участках депо по ремонту ходовых частей вагонов, приведено в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Технологическое и подъемно-транспортное оборудование участков колесного, тележечного и ремонта букс с роликовыми подшипниками

Наименование	Тип, марка	Примечание
1 Колесотокарный станок	1836 1836 А	
2 Токарно-накатный станок	1835 К	
3 Шеечно-накатный станок «Рафамет»	ХАС-112	
4 Мостовой кран	–	5 т/16,5 м 5 т/22,5 м
5 Кран мостовой однобалочный	–	2 т/16,5 2т/22,5
6 Кран консольно-поворотный	–	0,25 т – 0,50 т – 1,0 т – 2,0 т
7 Установка для механической очистки колесных пар	–	
8 Моечная установка для обмывки колесных пар	РМ-146-04	
9 Камера для окраски колесных пар		По типу ВЧД Тобол
10 Камера для окраски колесных пар с отсосом	–	–
11 Установка для окраски методом безвоздушного распыления	УБРХ-1	
12 Установка для окраски в электростатическом поле (930 x 585 x 500)	УЭРЦ-1 УЭРЦ-4	930x585x500
13 Стенд для дефектоскопии колесных пар	ПРО-02	
14 Дефектоскоп для колесных пар шеечный	ДКМ-16	
15 Дефектоскоп ультразвуковой	УЗД	
16 Дефектоскоп для проверки средней части оси колесной пары	ПКБ ЦТВР	В-26-54
17 Установка для механизированного удаления стружки от колесотокарного станка	–	–
18 Моечная установка для наружной обмывки тележек вагонов	ПКБ 219.03	АЛП-1
19 Поточно-конвейерная линия для ремонта рам литых тележек	ПКЛ-1	
20 Стенд для разборки тележек	ПКБ ЦВ	РП 219.05
21 Установка для рассверловки отверстий	ПКБ ЦВ	
22 Сверлильный станок	–	Консольный
23 Пресс для запрессовки втулок	ПКБ ЦВ	8500.0
24 Кантователь наддресорной балки	–	
25 Конвейер для ремонта и испытания триангелей: а) токарно-винторезный станок с приспособлением для обработки цапф триангелей и нарезания на них резьбы б) металлоконструкция конвейера в) шплинтовыминиматель	– Т205-06 –	Пневмогидравлический

Продолжение таблицы 2.14

Наименование	Тип, марка	Примечание
26 Вертикально-сверлильный станок	2Н-118	
27 Стационарная однокамерная моечная машина	МУ-1	
28 Автоматизированная установка для предремонтной диагностики буксовых узлов с роликовыми подшипниками	–	
29 Водоподогреватель	МВН 1406-02	Паро- водяной
30 Транспортировочная тележка для подачи рам тележек вагонов в моечную машину		
31 Стенд для разборки тележек	ПКБ ЦВ	
32 Транспортёр для поперечного перемещения тележек		
33 Кабина для ручной сварки	–	
34 Стенд для автоматической наплавки цапф триангелей		Электро- двигатель АО 2-81-4
35 Стенд разборки тележек	«Московка»	
36 Вращающаяся подставка для бухты сварочной проволоки		
37 Поворотный стол для электросварочных работ	–	
38 Станок для расточки отверстия в распорядке триангеля		Электро- двигатель АО 2-31-4
39 Приспособление для обработки тормозных башмаков		
40 Буксоъемник		ВЧД Люблино
41 Буксоъемник облегченный	ПКБ ЦВ МПС	ВЧД Омск
42 Буксоъемник	–	ВЧД Иркутск
43 Буксоъемник	–	
44 Кассета для снятых букс	–	
45 Механизм передвижения буксонадевателя	–	
46 Поточно-конвейерная линия для сборки буксового узла: а) конвейер для транспортировки букс б) механизм передвижения буксонадевателя в) подъемно-поворотное устройство г) толкатель колесной пары д) стеллаж передвижной е) пульт управления	– – – – – –	
47 Кассета подшипников		
48 Лоток для корпусов букс	ТП 501-28	
49 Стол-рольганг для накопления	Т-214-03	
50 Поточно-конвейерная линия для ремонта букс	–	По опыту Канашского ВРЗ

Окончание таблицы 2.14

Наименование	Тип, марка	Примечание
51 Кран подвесной однобалочный	–	2 т/6 м
52 Тележка с гайковертом для демонтажа роликовых букс	–	
53 Моечная камера с распрессовочным прессом и шагающим конвейером для роликовых букс	ТП 501-28	
54 Захваты для корпусов букс	–	
55 Лотки для корпусов букс и подшипников	–	
56 Установка для мойки роликовых подшипников	УПП-00-00	
57 Моечная машина для обмывки подшипников	–	По типу ВЧД Казатин
58 Автоматическая установка для промывки роликовых подшипников	ТП 501-28	
59 Камера для окраски и сушки тележек	ТЭЛП	Ш-4022
60 Стол для роликовых букс	–	
61 Станок сверлильный	НС-12 А	
62 Шкаф для инструмента металлический	–	Настольный
63 Стол-накопитель металлический	–	
64 Электродогреватель для нагрева внутренних и лабиринтных колец	ПКБ ЦВ	П 058
65 Конвейер для транспортировки роликовых букс	–	По типу ВЧД Казатин
66 Кран козловой 10 т/16 м	КДКК-1	
67 Поворотное устройство для колесных пар	–	
68 Нагреватель индукционный	ПР-1031	

2.3.4 Вагоносборочный участок

В эксплуатации достаточно часто встречаются случаи повреждения и чрезмерного износа деталей автосцепного устройства, которые нарушают нормальную и безопасную эксплуатацию подвижного состава. Износы шипа в корпусе автосцепки для навешивания замкодержателя, стенок его овального отверстия, забоины и закругления на противовесе замкодержателя и на торце верхнего плеча предохранителя приводят к уменьшению величины вертикального зацепления противовеса с верхним плечом предохранителя. Износы тяговой поверхности большого зуба корпуса и лапы замкодержателя также влияют на величину вертикального зацепления. Оказывает негативное влияние и износ малого зуба смежной автосцепки, который в сцепленном состоянии находится в зеве и взаимодействует с лапой замкодержателя.

Если величины указанных износов выше допускаемых, суммарные отклонения могут вызвать значительное опускание противовеса замкодержателя, ко-

гда вертикальное его зацепление с предохранителем будет настолько мало, что не сможет обеспечить удержание предохранителя, а следовательно, и замка. Износы отверстия предохранителя и шипа замка, износы торцов верхнего плеча предохранителя от саморасцепа и противовеса замкодержателя, изгибы замкодержателя и предохранителя могут вызвать опережение включения предохранителя при сцеплении. В этом случае торец предохранителя упирается в противовес, так как не успевает пройти над ним раньше, чем тот поднимется до уровня опорной поверхности полочки корпуса головки автосцепки. При этом происходит изгиб или излом деталей предохранительного устройства и, как следствие, саморасцеп в эксплуатации в результате частичной или полной потери вертикального зацепления. Изгибы верхнего плеча предохранителя от саморасцепа, износы его торца и стенок отверстия в совокупности с износами стенок овального отверстия в замке, стержня валика подъемника и стенок отверстия для него в корпусе автосцепки приводят к падению предохранителя от саморасцепа с полочки. При сцеплении такой головки автосцепки произойдет излом полочки, предохранителя или шипа замка.

Наблюдается также конусный износ шипа корпуса автосцепки для навешивания замкодержателя. При таком износе замкодержатель, спадая с шипа, прижимается к замку, и последний теряет подвижность, а замкодержатель принимает положение, при котором его противовес будет поднят выше полочки для предохранителя. В процессе сцепления произойдет опережение включения предохранителя. Износы деталей центрирующего прибора вызывают провисание головки автосцепки, приводящее к неравномерному и повышенному износу поверхностей контура зацепления автосцепки, нижней части замыкающей поверхности замка. Износы поверхностей контуров зацепления, перемычки хвостовика, клина тягового хомута, стенок отверстий для клина и задней опорной части тягового хомута, упорной плиты, упоров и поглощающего аппарата, приводящие к увеличению суммарного продольного зазора в автосцепном устройстве, вызывают рост продольных динамических усилий в поезде. Проверка автосцепного устройства при периодическом ремонте подвижного состава, восстановление его работоспособности должны гарантировать надежную работу в межремонтные периоды.

На вагоносборочном участке депо производят разборку автосцепного устройства с демонтажом основных съемных деталей независимо от их состояния (головок автосцепок, тяговых хомутов с поглощающими аппаратами и упорными плитами, центрирующих балочек и маятниковых подвесок), ремонт которых осуществляют в специализированном производственном помещении КПА. Несъемные детали (передние и задние упоры, детали расцепного привода) осматривают на вагоне и при необходимости ремонтируют. Поддерживающую планку с износом более 4 мм ремонтируют наплавкой до альбомного размера. Планку с трещиной исключают из эксплуатации, болты, планки, имеющие износ по диаметру более 2 мм, должны быть заменены новыми; заменяют болты с трещинами и неправильно изготов-

ленные. Расцепной рычаг плоской частью должен свободно входить в паз кронштейна и иметь ограничитель от продольного перемещения. Установка на вагонах исправных комплектов автосцепного оборудования должна обеспечивать выполнение основных требований, указанных в таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Основные требования к автосцепному устройству вагонов при выпуске их из ДР

Проверяемый размер	Предъявляемые требования
Расстояние от упора головки до грани ударной розетки	Не менее 70 мм при полностью вдвинутом и не более 90 мм при выдвинутом положениях головки автосцепки
Высота продольной оси автосцепки над головкой рельсов у вагонов на тележках ЦНИИ-ХЗ	Не более 1080 мм Не менее 1000 мм
Разность между высотой осей автосцепок по концам вагона	Не более 25 мм
Провисание головок автосцепок (отклонение от горизонтальной оси вниз)	" 10 мм
Отклонение головок автосцепок от горизонтали вверх	" 3 мм
Зазор между верхней плоскостью хвостовика головки автосцепки и потолком ударной розетки на расстоянии 15–20 мм от наружной ее кромки	Не менее 25 мм

При ремонте головок автосцепок выполняют следующие технологические операции восстановления корпуса электронаплавкой и сваркой:

– наплавку тяговых поверхностей малого, большого зуба; ударной поверхности малого зуба и зева головки; изношенных мест шипа для замкодержателя, нижней перемычки в окне для замка, стенок отверстия для валика подъемника; поверхности хвостовика, перемычки хвостовика, корпуса головки, боковых стенок отверстия для клина тягового хомута;

– заварку вертикальных трещин сверху и снизу в зеве корпуса головки, в углах окон для замка и замкодержателя, в хвостовике корпуса головки; приварку полочки.

Детали центрирующего прибора автосцепки при износе не более 3 мм восстанавливают наплавкой, а при наличии трещин – заменяют.

Наплавку поверхностей корпуса автосцепки по контуру зацепления осуществляют при условии, что наплавленный металл не должен доходить ближе 15 мм к закруглениям в углах и иметь твердость не менее HB250. Заварка вертикальных трещин в зеве головки автосцепки со стороны большого зуба в углах, образованных ударной стенкой зева и боковой поверхностью большого зуба, а также боковой стенкой и тяговой стороной большого зуба, разрешена, если при разделке они не выходят на горизонтальные плоскости наружных ребер большого зуба. Заварка трещин в хвостовике корпуса автосцепки при глубине их более 5 мм допускается при условии,

что после разделки трещин поперечное сечение стенок хвостовика не уменьшится более чем на 25 %. Наплавку поверхности хвостовика по месту прилегания к центрирующей балочке и поверхностей боковых стенок отверстия для клина тягового хомута производят при износе более 3 мм, но не более 8 мм. Наплавка перемычки хвостовика со стороны прилегания тягового клина и с торца разрешена при условии, что толщина ее перед наплавкой будет не менее 40 мм для автосцепки СА-3 и не менее 44 мм – для СА-3М.

При **восстановлении деталей механизма зацепления автосцепки** сваркой разрешается наплавка:

- изношенной замыкающей поверхности замка (твердость наплавленного металла должна быть не менее НВ 250);

- задней кромки овального отверстия замка для валика подъемника, изношенных мест нижней части замка или приварка нового шипа для навешивания предохранителя, обломанного сигнального отростка замка;

- изношенных поверхностей замкодержателя, заварка не более одной трещины в замкодержателе;

- изношенных поверхностей и отверстий предохранителя, подъемника замка, валика подъемника (литые предохранители ремонту сваркой не подлежат).

Тяговые хомуты восстанавливают электронаплавкой изношенных поверхностей:

- стенок отверстия для клина;

- потолка проема головной части;

- перемычки отверстия для клина при условии, что оставшаяся толщина будет не менее 45 мм;

- выработанных мест на тяговых полосах при условии, что толщина полосы в месте износа – не менее 20 мм и ширина – не менее 95 мм (для автосцепки СА-3М – соответственно не менее 22 и 115 мм);

- задней опорной поверхности.

Заварку трещин производят только в ушках для болтов, поддерживающих тяговый клин; в углах соединительных планок и задней опорной части хомута, но не выходящих на тяговые полосы. Разрешается при деповском ремонте грузовых вагонов электронаплавка изношенных упорных плит при толщине их средней части не менее 53 мм для автосцепок СА-3М и не менее 44 мм – для СА-3 с предварительным подогревом их до температуры 250...300 °С (после механической обработки толщина плит должна составлять соответственно 58–59 и 48–49 мм). Заварка трещин в упорных плитах не допускается.

При **ремонте поглощающих аппаратов** разрешена:

- заварка трещин в задней части корпуса у технологических отверстий при условии, что суммарная длина трещин не превышает 120 мм (с предварительным подогревом корпуса до температуры 250...300 °С);

- наплавка изношенных нажимных шайб, изношенной резьбы стяжных болтов длиной не более 35 мм (при удалении старой резьбы на станке), изношенных мест поверхности болта вблизи головки при условии, что глубина износа – не более 5 мм по диаметру;

– приварка новой части болта при расположении стыка не ближе 30 мм от головки и резьбы болта.

При деповском ремонте подвергают **обязательному магнитному контролю**: хвостовик корпуса автосцепки, тяговый хомут, клин тягового хомута, маятниковые подвески центрирующего прибора и стяжной болт поглощающего аппарата (последний – только после ремонта сваркой). Стяжной болт после ремонта сваркой дополнительно испытывают на растяжение под нагрузкой 100 кН.

После ремонта и проверки комплектующих деталей автосцепного устройства **подлежат клеймению**: замок, замкодержатель, предохранитель, подъемник замка, валик подъемника, тяговый хомут, клин тягового хомута, балочка центрирующего прибора, маятниковые подвески, корпус поглощающего аппарата, упорная плита, головка автосцепки в сборе. Обозначают номер ремонтного пункта и дату ремонта. До установки на вагон съемные детали автосцепного устройства окрашивают краской черного цвета, за исключением механизма зацепления, внутренней поверхности зева корпуса автосцепки и поглощающего аппарата.

В соответствии с правилами ремонт автосцепного оборудования вагонов производят в строгой **технологической последовательности**:

- очистку от грязи и ржавчины;
- испытание на растяжение и магнитный контроль;
- разборку, осмотр и обмер шаблонами, мерительным инструментом;
- восстановление электронаплавкой и сваркой;
- станочную обработку наплавленных поверхностей;
- зачистку наплавленных мест, недоступных при обработке на станочном оборудовании, острых кромок деталей и мест для постановки клейм при помощи ручного механизированного инструмента;
- проверку качества ремонта, сборку, проверку работы и постановку клейм;
- окраску и сушку.

Ремонт деталей автосцепного оборудования вагонов в контрольном пункте можно осуществлять на **поточно-конвейерных** или **механизированных поточных линиях** либо с применением **механизированных стенов-манипуляторов**, в зависимости от заданной ремонтной программы и конкретных условий производства. При разработке технологических процессов восстановления деталей автосцепки сваркой следует предусматривать широкое применение автоматической и полуавтоматической сварки: под флюсом, в среде углекислого газа и смесях газов, порошковой проволокой.

Детали автосцепного устройства, отвечающие требованиям инструкции, направляют на комплектовочные стеллажи или на стеллажи для исправных деталей. Изогнутые детали транспортируют для выправления, а изношенные – в сварочные кабины для наплавки. Туда же направляются детали, имеющие трещины, которые разрешается заваривать. После наплавки детали подвергают механической обработке, чтобы придать им соответствующие размеры и шероховатость поверхности.

Поглощающие аппараты собирают на гидравлическом прессе с небольшим предварительным сжатием для облегчения их последующей установки на вагон.

При поточном методе ремонта автосцепки **транспортировка деталей по позициям КПА** может осуществляться при помощи напольных и подвесных замкнутых конвейеров, роликовых конвейеров и рольгангов, механизированных тележек.

Ремонт головок автосцепок и тяговых хомутов с поглощающими аппаратами в контрольном пункте автосцепки без использования замкнутой конвейерной осуществляют в заданной технологической последовательности в шести отделениях КПА: наружной очистки, разборки-сборки, сварки и электронаплавки деталей, механической обработки наплавленных деталей, ремонта тяговых хомутов и поглощающих аппаратов, правки деформированных деталей автосцепного оборудования вагонов.

Организацию ремонта в КПА с использованием подвешенного конвейера для транспортировки головок автосцепки успешно применяют в вагонных депо. Она может быть одним из вариантов проектирования или внедрения в производство.

Ремонт автосцепного оборудования вагонов с применением многоместных стендов для сборки и разборки головок осуществляют в соответствии с Типовым технологическим процессом деповского ремонта по принципу поточности выполнения технологических операций на специализированных рабочих местах КПА. Промытые головки автосцепки подают на многоместный поворотный, разборочный стенд с вращающимися установочными обоймами. Возможность поворота стенда на 180° и вращения головки автосцепки вокруг своей горизонтальной оси создает дополнительные удобства при пользовании мерительными инструментами и шаблонами для оценки технического состояния корпуса. Детали механизма зацепления головки автосцепки дефектуют по техническому состоянию на исправные, подлежащие правке, требующие наплавки и непригодные, а затем направляются на соответствующие рабочие места контрольного пункта автосцепки. Сборку головок автосцепки из отремонтированных деталей, проверку действия механизма сцепления и постановку клейм выполняют на втором многоместном стенде с поворачивающимися установочными обоймами. Комплектовку поглощающих аппаратов из исправных, заранее отремонтированных деталей, сборку аппаратов с предварительным сжатием производят на специальном механизированном стенде.

При указанной организации работ **в контрольном пункте автосцепки предусматривают:**

– выполнение установленных технологических операций комплексными или специализированными бригадами слесарей по ремонту подвижного состава, электросварщиков, строгальщиков, фрезеровщиков по квалификации, соответствующей разряду выполняемых работ;

– оборудование рабочих мест приспособлениями, стационарными и переносными наждачными станками, механизированным инструментом, местным освещением, вытяжной и приточной вентиляцией.

Ремонт несъемных деталей автосцепного устройства осуществляют на ВСУ по месту на вагоне. Бригадир вагоносборочного участка осматривает на вагоне ударную розетку, обмеряет шаблоном отверстия для маятниковых подвесок. На проверенной розетке старое клеймо зачищают и ставят новое. Осматривают хребтовую балку и упорные угольники, проверяют специальным шаблоном износ упорных угольников и прочность их крепления. Упорные угольники, имеющие трещины или отколы, заменяют новыми. Ослабшие заклепки упорных угольников переклепывают; подчеканка и подтяжка заклепок не допускается. Износ или перекос опорных поверхностей упоров величиной менее 3 мм допускаются без исправления. При больших износах проводят наплавку с последующей механической обработкой или приварку планки (по размерам упора) толщиной не менее 5 мм. Расстояние между боковыми гранями упорных поверхностей передних угольников – 205–220, у задних – 165–220 мм.

После проверки и ремонта несъемных деталей автосцепного устройства на вагоне устанавливают фрикционные аппараты в сборе с тяговыми хомутами и плитами с помощью подъемника с гидро- или пневмоприводом. Болтами М22 х 90 закрепляют поддерживающую планку. На каждый из 8 болтов устанавливают гайку, контргайку и шплинт. После установки на вагон головок автосцепки закрепляют клинья тяговых хомутов поддерживающими болтами. Замену болтов производят при износе более 2 мм по диаметру (длина болта должна быть 140⁺⁵ мм, резьба не должна выходить на участок между ушками тягового хомута). Автосцепка должна свободно перемещаться из среднего положения в крайнее от усилия человека и возвращаться обратно под действием собственного веса. Проверку производят после удаления прокладки из-под гайки стяжного болта фрикционного аппарата. Длина цепи расцепного привода должна быть отрегулирована так, чтобы нижняя часть замка не выступала наружу от вертикальной стенки зева при расположении рукоятки рычага на полочке кронштейна.

При деповском ремонте грузовых вагонов кроме магнитопорошковой дефектоскопии ответственных деталей автосцепного устройства используют вихретоковый и феррозондовый методы контроля.

Вихретоковый метод неразрушающего контроля (НК) предназначен для выявления поверхностных дефектов типа волосовин, усталостных и термических (закалочных) трещин на деталях из электропроводящих материалов. Принцип действия вихретоковых дефектоскопов основан на возбуждении в контролируемом изделии вихревых токов с помощью вихретокового преобразователя. В качестве преобразователя используются индуктивные катушки, по которым пропускается переменный или импульсный ток, создающий вокруг катушки электромагнитное поле. Катушки вызывают в поверхностном слое металла вихревые токи в виде концентрических окружностей,

максимальный диаметр которых примерно равен диаметру катушки. Вихревые токи создают собственное (вторичное) магнитное поле, которое воздействует на параметры преобразователя. По характеру этого воздействия можно судить о состоянии поверхностного слоя контролируемой детали, в том числе о наличии трещин. Вихревые токи возбуждаются непосредственно под вихретоковым преобразователем и проникают на глубину от долей миллиметра до нескольких миллиметров в зависимости от частоты возбуждающего тока. Чем выше частота возбуждающего тока, тем меньше глубина проникновения вихревых токов под контролируемую поверхность вглубь деталей.

Вихретоковые дефектоскопы отличаются типом преобразователя, частотой и видом возбуждающего тока, способом обработки сигнала, поступившего от преобразователя. В дефектоскопах предусмотрена световая и звуковая сигнализация о наличии дефекта в момент пересечения преобразователем трещины при сканировании поверхности детали. Признаком дефекта является срабатывание световой и звуковой индикаций. Оператор обязан зачистить контролируемую поверхность до металлического блеска и просканировать это место еще не менее трех раз. Если срабатывание не повторилось, можно продолжать контроль.

Для **феррозондовой проверки деталей** применяют устройства неразрушающего контроля типа МСН-11 и МСН-12 для намагничивания корпуса автосцепки и тягового хомута автосцепного устройства вагонов. МСН-11 – переносное намагничивающее устройство дефектоскопных установок ДФ-103, ДФ-105, ДФ-201, представляющее собой Г-образную конструкцию со встроенными постоянными магнитами, содержащую соединенные магнитопроводом магнитные полюса (S и N). Форма полюсных магнитных наконечников дефектоскопов обеспечивает оптимальный магнитный контакт с проверяемой деталью. Переносное устройство МСН-12 состоит из двух постоянных магнитов, соединенных гибким магнитопроводом в кожаном чехле; намагничивание каждой детали осуществляется по участкам.

В комплект каждой феррозондовой установки ДФ входят: дефектоскоп, состоящий из электронного блока и феррозондового преобразователя, и намагничивающее устройство. При контроле деталей автосцепки применяют преобразователи с базой 3 мм (преобразователь-градиентомер состоит из двух индуктивностей с параллельными сердечниками, размещенными на расстоянии 3 мм друг от друга). Феррозондовый метод НК, основанный на выявлении преобразователем магнитных полей рассеивания дефектов в намагниченных изделиях, позволяет контролировать корпус автосцепки, поглощающего аппарата и тяговый хомут, клин тягового хомута и др. Зоны контроля корпуса автосцепки: ПГХ – переход от головки к хвостовику; ПХ – поверхность хвостовика; ОКХ – кромка отверстия под клин тягового хомута; ПРХ – перемычка хвостовика; УБЗ – углы большого зуба головки; ОКЗ – кромка отверстия замка и замкодержателя. Зоны контроля тягового хомута автосцепного устройства вагонов: ТП – тяговые полосы; КЗЧ – кромка задней части; КСП – кромка соединительных планок; ПУТ – переход от ушек для болтов к тяговой полосе; УТЧ – углы между тяговыми полосами и задней ударной частью.

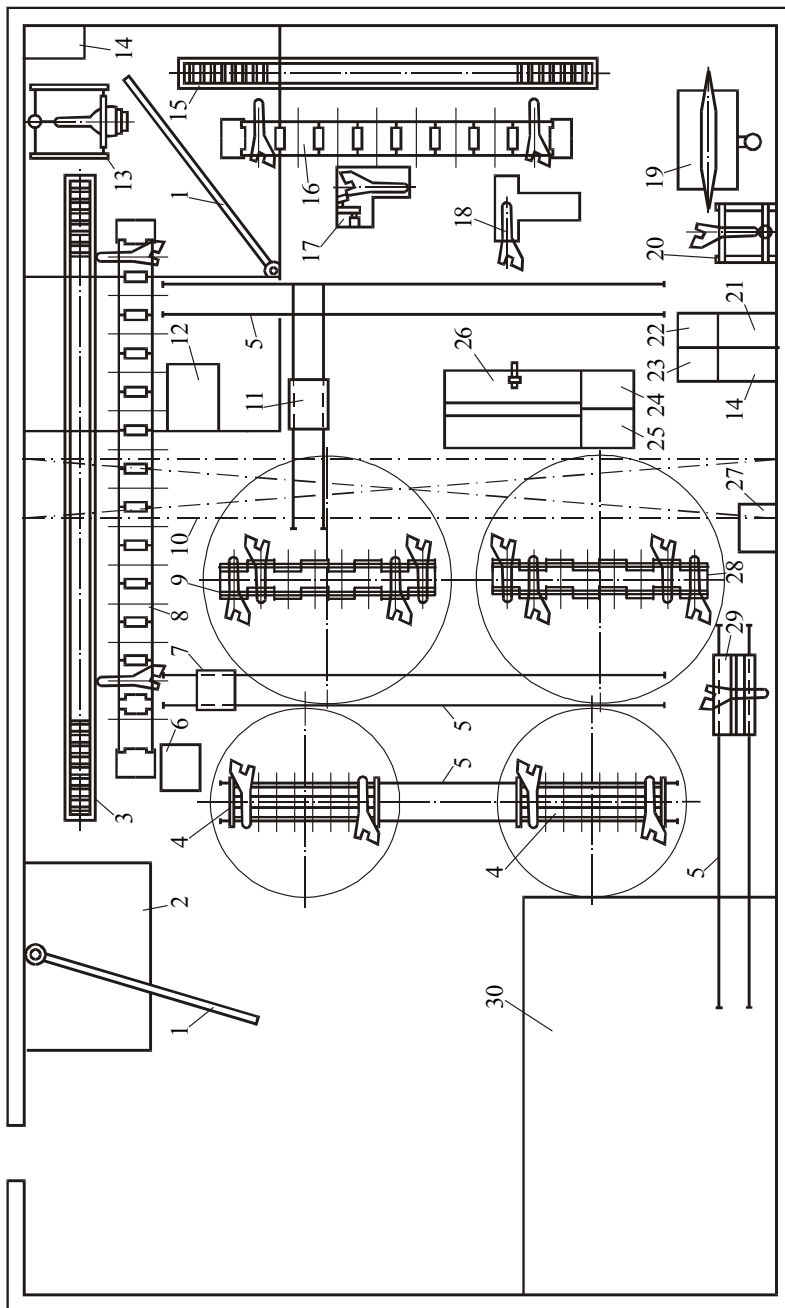


Рисунок 2.20 – Схема технологической планировки контрольного пункта автосцепки

Для крупных вагонных депо рекомендуется схема планировки КПА, приведенная на рисунке 2.21. Планировка контрольного пункта автосцепки с использованием замкнутого напольного конвейера приведена на рисунке 2.22. Данные конвейеры имеются в ряде депо, но в большинстве они не используются на полную мощность.

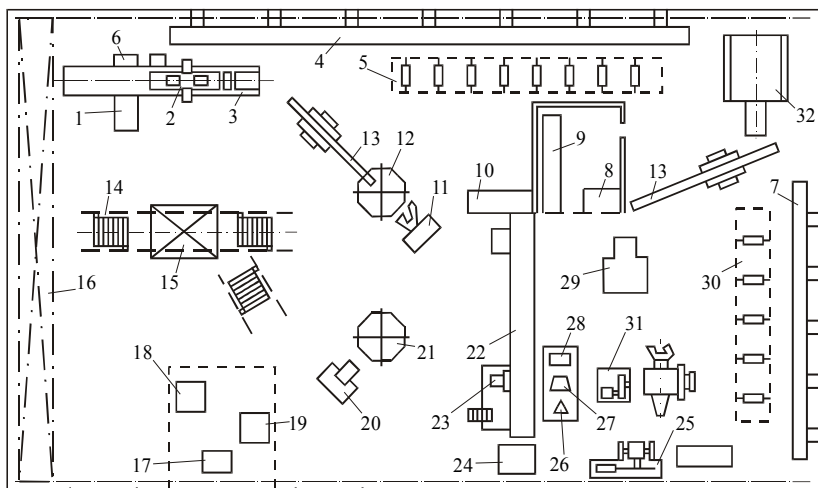


Рисунок 2.21 – Схема размещения оборудования поточно-конвейерной линии в контрольном пункте автосцепки:

1 – стеллаж для клиньев, болтов и шайб поглощающих аппаратов, упорных плит; 2 – стенд для разборки и сборки поглощающих аппаратов; 3 – тележка-транспортёр для тяговых хомутов с поглощающими аппаратами; 4, 5 – конвейеры для перемещения тяговых хомутов и поглощающих аппаратов; 6 – укладчик; 7 – конвейер для тяговых хомутов; 8, 9 – сварочный стол с приспособлением; 10, 22 – рольганги; 11 – стенд-манипулятор с приставками для магнитного контроля деталей; 12 – стенд для разборки головок; 13 – кран-укосина; 14 – кассета четырехместная с гнездами для транспортировки головок; 15 – моечная машина; 16 – кран-балка; 17 – приспособление для правки деталей механизма автосцепки в нагретом состоянии; 18 – гидравлический пресс; 19 – электропечь; 20 – полуавтоматическое устройство для маркировки; 21 – стенд сборки; 23 – полуавтоматическое устройство для постановки клейм на детали механизма автосцепки; 24 – заточной станок; 25 – универсальный наплавочный агрегат УНА-2; 26, 27 – приспособления для обработки перемычки хвостовика и наплавленных поверхностей во внутренних карманах корпуса; 28 – приспособление для обработки отверстия под валок подъемника; 29 – фрезерный станок; 30 – конвейер-накопитель; 31 – установка для обработки корпусанавесными приспособлениями; 32 – приспособление для сварочных работ

2.3.5 Участок по ремонту полувагонов и платформ

При деповском ремонте полувагонов проверяют техническое состояние разгрузочных люков и их запоров. Местные зазоры между крышкой разгрузочного люка и плоскостью ее прилегания к вагону допускаются не более 7 мм для обеспечения сохранности перевозимых грузов в эксплуатации. Разрешается производить без снятия крышек люков с вагонов при деповском и текущем ремонтах: приварку усиливающих планок передних

угольников обвязки крышек люков и планок под запорные угольники, заварку трещин в листах крышек, дефектов сварных швов угловых косынок крышек и скоб запорных угольников.

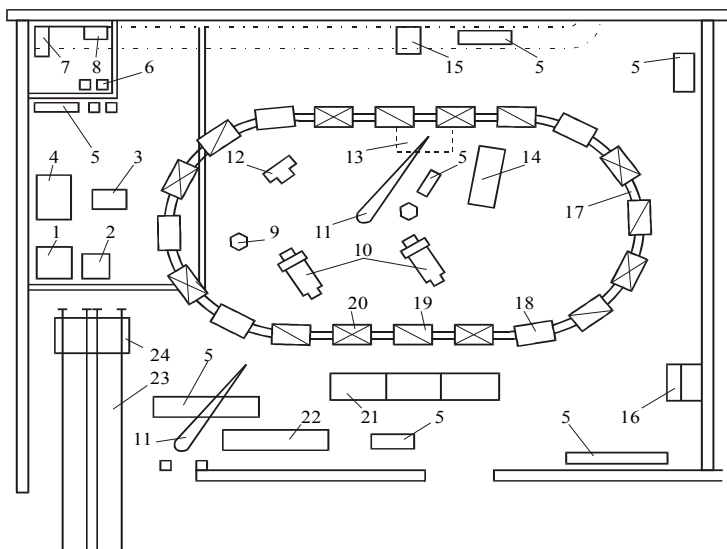


Рисунок 2.22 – Схема планировки контрольного пункта автосцепки:

1 – сварочный трансформатор; 2 – нагревательная печь; 3 – пресс для правки хвостовика корпуса автосцепки; 4 – выпрямитель ВКСМ-100; 5 – стеллаж; 6 – сварочные реостаты; 7 – стол сварщика; 8 – сварочный аппарат; 9 – тумбочка для инструмента; 10 – строгальный станок; 11 – консольный кран; 12, 14, 15 – фрезерные станки; 13 – привод конвейера; 16 – справочная установка; 17 – поточная линия; 18 – технологическая тележка для деталей механизма сцепления головки; 19, 20 – стенды для сборки-разборки на тележках; 21 – верстак слесарный; 22 – стенд для ремонта поглощающих аппаратов; 23 – рельсовый путь; 24 – транспортировочная тележка

Детали запорного механизма люков, имеющие значительные износы, ремонтируют наплавкой, негодные – заменяют. Крышки разгрузочных люков, требующие выполнения большого объема сварочных работ или имеющие прогиб по всему полотну 50 мм и более, снимают с полувагона и направляют на ремонт в специализированное отделение депо. Также снимают деформированные торцевые двери полувагонов, требующие большого объема правки элементов и сварочных работ. Частота повторяемости работ при смене крышек разгрузочных люков составляет 0,85 на один полувагон, а при смене торцевых дверей – 0,12. Наиболее характерные износы и повреждения крышек разгрузочных люков полувагонов и технические условия на ремонт приведены в таблице 2.17.

Если дефекты крышки люка превышают допускаемые нормы, поврежденную часть полотна крышки заменяют новой. Для этого ее отрезают по предварительной разметке, а из листовой стали толщиной 6 мм заготавли-

вают новую часть и усиливающую накладку шириной 200 мм. Кромки оставшейся и новой частей полотна зачищают, подгоняют встык и прихватывают электросваркой через каждые 100–150 мм. Вдоль стыка со стороны петель подгоняют усиливающую накладку. Накладку по кромкам приваривают к полотну крышки прерывистым швом по 30–40 мм с интервалами 100–150 мм в шахматном порядке. Затем производят приварку накладки сплошным швом к полотну крышки люка и ребрам, заварку стыкового шва.

Таблица 2.17 – Неисправности крышек люков

Износы и повреждения	Технические условия
Зазоры между крышками люков и рамой полувагона	При завышенных зазорах производится приварка по одной планке на горизонтальные полки запорных угольников крышек люков толщиной до 12 мм. Ширина планки – 60 мм, длина – 60–100 мм
Износ рабочих поверхностей и разработка отверстий в деталях запорного механизма	Разрешается наплавка изношенных поверхностей и заварка отверстий с последующей расшерловкой
Трещины в ребрах и угольниках крышек	При заварке трещин толщина металла в местах наложения сварных швов должна быть не менее 4 мм. Восстановленные сваркой участки перекрываются угловыми или плоскими накладками толщиной 6 мм и длиной не менее 100 мм
Трещины полотна (листа) крышки люка	Допускается заварка не более 4 трещин в углах или местах расположения петель снятой с полувагона крышки при толщине полотна в местах наложения сварных швов не менее 4 мм. Трещины после заварки должны быть перекрыты не менее чем на 50 мм накладками толщиной 4 мм. Без снятия крышки с полувагона разрешается заваривать 2 трещины длиной до 100 мм каждая
Повреждения полотна крышки люка (пробоины, протертости, коррозия)	Приварка накладок толщиной 4 мм в количестве не более 3 с размерами не более 200 × 400 мм. Расстояние между накладками – не менее 150 мм. Толщина полотна в местах наложения сварных швов – не менее 4 мм. Накладки должны перекрывать сквозные протертости и пробоины не менее чем на 50 мм (с приваркой двусторонними швами)

Ремонтное отделение располагается в специализированном помещении главного производственного корпуса депо. Все технологические операции выполняются на ремонтных позициях отделения, оборудованных прессами и стендами для правки деформированных крышек люков и створок торцевых дверей с электрогазосварочным оборудованием и оснасткой для удаления ослабших и постановки новых заклепок петель крышек люков.

Правильные гидравлические прессы оснащают дополнительными цилиндрами прижатия привариваемых усиливающих накладок. Правку крышек производят сразу по всему полотну в вертикальной плоскости, правку створок торцевых дверей, – как правило, на отдельном прессе в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Для хранения технологического запаса накладок, угольников, заклепок и других необходимых при ремонте деталей и сварочных материалов устраивают стеллажи. Отделение связано с вагоноборочным участком устройствами для транспортировки неисправных и отремонтированных крышек люков и створок торцевых дверей полувагонов. В зависимости от величины ремонтной программы производственный процесс отделения может осуществляться на конвейерных или механизированных поточных линиях.

Технологические операции по восстановлению крышек разгрузочных люков полувагонов на шести позициях конвейерной линии рекомендуются осуществлять в такой последовательности:

1) обмывка и очистка от грязи и ржавчины 3%-ным раствором каустической соды в закрытой душирующей установке (моющей машине), обмывка горячей водой;

2) правка полотна, боковых и запорных угольников крышек гидравлическим прессом;

3) обрезка негодных деталей крышек, подгонка и прихватка накладок на полотно крышки, усиливающих накладок под петли и запорные угольники, усиливающего угольника крышки люка;

4) электросварочные работы;

5) окончательная правка и рихтовка крышек на прессе после электросварочных работ;

6) приклепка петель к крышкам люков.

На поточной линии по ремонту крышек люков могут предусматриваться три специализированные позиции.

На первой позиции производят правильные работы, обрезку негодных деталей, подгонку и прихватку накладок. Электросварочные работы выполняют на второй позиции на стендах-кантователях, позволяющих осуществлять электросварку в нижнем положении. Сварочную позицию оборудуют локализующей вытяжной вентиляцией. На третьей позиции предусматривают клепальные работы, для выполнения которых устанавливают стенд-кантователь такой же конструкции, что и на второй позиции, а также электронагреватель заклепок и сверлильный станок. Постановка заклепок может осуществляться при помощи стационарного электро- и пневмогидравлического прессы или с использованием переносного прессы-скобы. Ослабшие заклепки удаляют при помощи пневматического зубила. Отремонтированные крышки разгрузочных люков подвергают окраске и сушке.

Ремонт торцевых дверей полувагонов, снимаемых для устранения неисправностей, целесообразно выполнять на трех специализированных позициях поточной линии, где производят:

- 1) разделку деформированных стоек, обвязок, верхних запоров, петель при помощи газорезки;
- 2) правку двери в вертикальной и горизонтальной плоскостях, устранение перекоса, пропеллерности, местных прогибов на гидравлическом прессе;
- 3) электросварочные работы на стенде-кантователе с пресс-кондуктором для прижатия элементов двери, поджатия накладок. Отремонтированные металлические двери полувагонов принимает бригадир.

Обезлички торцевых дверей при указанном ремонте, как правило, не происходит, так как за время нахождения полувагона на одной-двух позициях конвейерной линии ВСУ обеспечивается восстановление снятых неисправных створок дверей. Для пополнения отсутствующих дверей или при объеме ремонта, значительно превышающем расчетный, в отделении создают оборотный запас. Наличие на поточных линиях стендов-кондукторов, имитирующих места постановки крышек разгрузочных люков и торцевых дверей полувагонов, значительно снижает трудоемкость регулировочных работ на ремонтируемом полувагоне. При необходимости организации ремонта крышек разгрузочных люков и торцевых дверей полувагонов в специализированных отделениях можно воспользоваться схемами технологических планировок, показанных на рисунках 2.23–2.25.

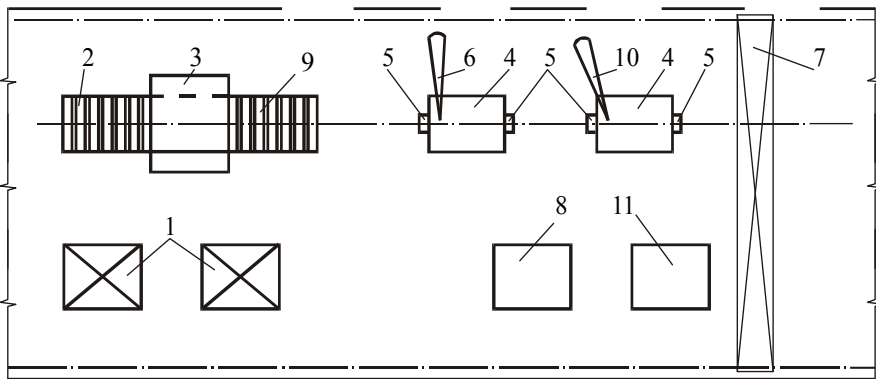


Рисунок 2.23 – Схема отделения для поточного ремонта крышек разгрузочных люков полувагонов:

1 – стеллаж-кассета; 2 – рольганг; 3 – пресс для правки крышек люков; 4, 5 – откидные и поворотные стойки кантователей для сварочных и клепальных работ; 6, 10 – краны-укосины; 7 – кран-балка; 8 – стенд-стеллаж; 9 – стол проверки качества ремонта; 11 – стенд-кондуктор, имитирующий место постановки крышки разгрузочного люка на вагоне

При деповском **ремонте платформ** наиболее трудоемкими являются операции по восстановлению геометрических форм и размеров металлических бортов в пределах норм, установленных техническими условиями. Искривление металлического продольного борта в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также зазоры между бортами и металлическими армировочными угольниками в закрытом положении бортов не должны превышать 5 мм. Если зазоры больше 12 мм, то нижние кромки бортов выправляют со снятием их с платформы. Ремонт металлических бортов с отъемкой целесообразно производить и при большом объеме электросварочных работ, повреждениях петель, больших деформациях бортов. Частота повторяемости работ при ремонте металлических бортов с отъемкой принимается 0,48 на платформу. Исходя из расчетной ремонтной программы, борта можно восстанавливать на поточно-конвейерных линиях.

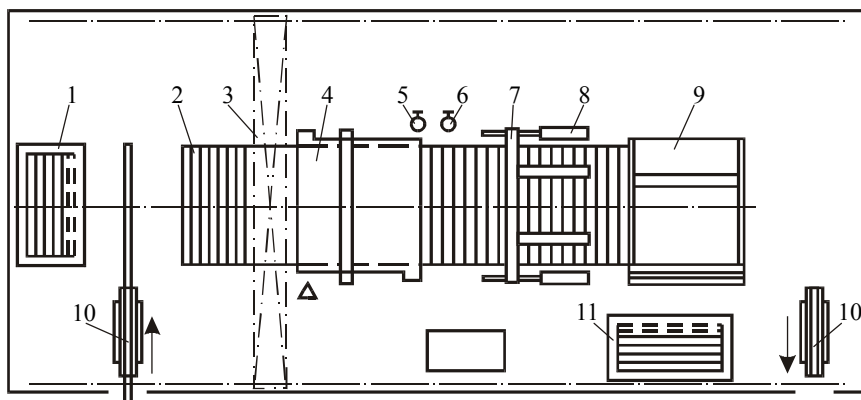


Рисунок 2.24 – Схема поточной линии ремонта торцевых дверей полувагонов:

1, 11 – стеллажи; 2 – рольганг; 3 – кран-балка; 4 – гидравлический пресс для правки двери; 5, 6 – колонки подвода кислорода и горючего газа; 7 – кантователь; 8 – привод кантователя; 9 – стенд, имитирующий положение створки двери на полувагоне; 10 – технологическая тележка

При деповском ремонте платформ разрешается производить: восстановление электросваркой дефектных швов деталей крепления металлических бортов; заварку продольных трещин длиной не более 100 мм на листах бортов без перекрытия усиливающими накладками; заварку на листе борта не более 6 поперечных трещин при условии, что они не уменьшают поперечное сечение борта более чем на 30 %, а толщина листа в месте наложения швов – не менее 3 мм, с перекрытием продольными усиливающими накладками толщиной 3–4 мм; наплавку изношенных мест запорных клиньев и поверхностей валиков клиньев борта до первоначальных размеров. Поступившие в отделение борта платформ подвергаются правке на прессе в холодном состоянии или с подогревом. Срезают газорезкой детали бортов, требующие ремонта или замены, затем борта перемещают на стенд-кантователь для сва-

рочных работ; заваривают трещины в полотне борта; подгоняют и приваривают профильные накладки; устраняют сквозные потертости и пробоины в полотне борта постановкой накладок и обваркой их с двух сторон; приваривают взамен ранее срезанных новые или исправленные детали. Устранение мелких дефектов и окончательную рихтовку бортов после сварки осуществляют на правильной плите с применением пневмо- или гидропржимов.

Контроль технического состояния навесных дверей крытых вагонов осуществляют на позициях поточной линии вагоносборочного участка. По правилам ремонта вагонов в депо разрешена заварка: не более двух трещин в угольниках обвязки двери с усилением мест сварки угловыми накладками; пробоин и прорезов с наложением накладок и вставок, но не более четырех на месте обшивки двери; прорезов на месте обшивки, если ширина их не более 3 мм. Деформированные цельнометаллические самоуплотняющиеся двери, а также двери, требующие большого объема восстановительных электросварочных работ, подвергают ремонту с отъемкой от вагона. Двери цельнометаллических крытых вагонов и вагонов с деревянной обрешеткой кузова, требующие ремонта с отъемкой, транспортируются в специализированное отделение депо. При большом объеме ремонта и значительной ремонтной программе целесообразно проектировать поточные линии по ремонту дверей. Примерная схема такой поточной линии представлена на рисунке 2.25.

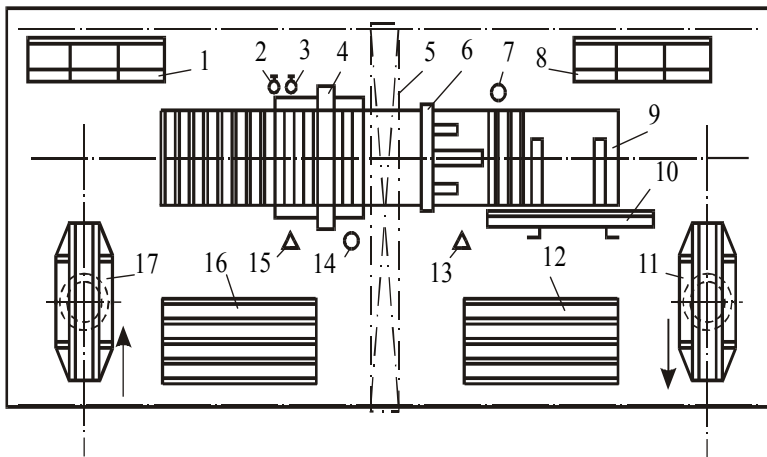


Рисунок 2.25 – Схема поточной линии ремонта дверей крытых вагонов: 1, 8, 12, 16 – стеллажи; 2, 3 – колонки для подвода кислорода и горючего газа; 4 – правильный пресс; 5 – кран-балка; 6 – кантователь; 7, 14 – колонки для подключения пневмоинструмента; 9 – кантователь-подъемник; 10 – стенд, имитирующий положение двери относительно дверного проема вагона; 11, 17 – технологические тележки; 13, 15 – колонки для подключения электросварочной аппаратуры

На *первой позиции* определяют объем ремонта, выполняют столярные и слесарные подготовительные работы для последующих правочных и электросва-

рочных работ. *Вторая позиция* оснащена оборудованием для прессово-правочных и газосварочных работ. Перемещение ремонтируемых дверей с позиции на позицию поточной линии может осуществляться по трубчатым рольгангам или цепными и роликowymi конвейерами. Между второй и *третьей позициями* устанавливают кантователь для электросварочных и рихтовочных работ. Завершается ремонт дверей на *четвертой позиции* поточной линии, где восстанавливают направляющие кронштейнов-угольников, опорные ролики и подшипники с заменой деталей новыми или отремонтированными, проводят столярные и прочие работы. Затем на специальном стенде проверяют прилегание отремонтированных дверей к задним и передним притворным угольникам стоек дверного проема и легкость перемещения ее по направляющим.

На основании опыта работы грузовых вагонных депо можно сделать вывод, что в производственных помещениях длиной 18–24 и шириной 9–12 м обеспечивается возможность размещения всего необходимого оборудования, оснастки, приспособлений четырехпозиционной поточной линии ремонта дверей крытых вагонов. Основное технологическое оборудование отделения ремонта крышек люков и торцевых дверей полувагонов приведено в таблице 2.18.

Таблица 2.18 – **Основное оборудование отделения ремонта крышек люков и торцевых дверей полувагонов**

Наименование оборудования	Тип, марка	Примечание
Стенд для правки крышек люков и торцевых дверей полувагонов	ПКБ ЦВ	Т 260-00
Комбинированный пресс гидравлический для правки крышек	–	–
Стенд для правки торцевых дверей	ПКБ ЦВ	Т 260-01
Пресс для приклепывания петель крышек люков	–	–
Станок вертикально-сверлильный	2Б 125	–
Станок вертикально-сверлильный универсальный одношпиндельный	НН-135	–
Поворотный кондуктор для сварочных работ	ПКБ ЦВ	К 27-00
Рольганг для сверлильных и клепальных работ на крышках люков	ПКБ ЦВ	27-00
Правильная и разметочная плита	–	Однобалочный электрический
Кран подвесной	–	
Обдирочно-шлифовальный станок	–	–
Трансформатор сварочный	3М 634	–
Стенд для ремонта дверей	СТ-1000А	Т 192-11
Пила дисковая электрическая	ПКБ ЦВ	–
Стеллаж для досок обшивки	ИЭ-5101	–
Гайковерт пневматический	ПРГ-80	Реверсивный

Сливной прибор является одной из важнейших частей цистерн. От его исправности зависит сохранность грузов, безопасность движения, обеспечение взрыво- и пожаробезопасности. Сливные приборы при деповском ремонте цистерн полностью разбирают, за исключением приваренных патрубков нижних частей, и ремонтируют в специализированном отделении. В настоящее время цистерны оборудованы в основном универсальными сливными приборами. **Перед разборкой сливного прибора на вагоне проверяют:** совпадение вертикальных осей корпуса клапана, стойки клапана и штанги; состояние резьбовых соединений, плотность болтовых и заклепочных сочленений деталей; плотность прилегания корпуса клапана к седлу. Визуально могут быть выявлены следующие неисправности, вызывающие разгерметизацию сливных приборов: отсутствие крепления верхней части штанги и изгиб ее средней части, выворачивание резьбовой втулки из стойки клапана и износ резьбы, ослабление крепления и изгиб стойки клапана.

Обрыв кронштейна по сварочному шву или отсутствие болтов крепления верхней части штанги приводит к снижению осевого нажатия на корпус клапана. При закрытии сливного прибора с изогнутой штангой происходит смещение корпуса клапана относительно седла в случае износа, изгиба или излома нижних направляющих перьев корпуса. Износ резьбы втулки стойки клапана способствует самоотворачиванию штанги в эксплуатации. В результате выворачивания или среза шпилек крепления втулки стойки клапана штанга не перемещаются по вертикали и корпус клапана не прижимается к седлу. При изгибе стойки клапана или ослаблении ее крепления корпус клапана не центрируется относительно седла. При открывании сливного прибора штанга может выворачиваться полностью, если наблюдается износ кольцевой проточки хвостовика нижней части штанги, изгиб и износ шпилек крепления штанги к корпусу клапана. При этом корпус клапана сливного прибора отрывается от штанги и западает в гнездо клапана. Обрыв по периметру резинового уплотнительного кольца корпуса клапана, местные вмятины, разрушение и потеря эластичности резины, неправильная установка кольца вызывают течь при наливке цистерны. При деповском ремонте цистерн неисправные уплотнительные резиновые кольца заменяются новыми.

Наружная часть сливного прибора может иметь неисправности: излом и изгиб скобы, отсутствие валика крепления и срыв резьбы гайки скобы, отсутствие прижимного и уплотнительного колец. При наружном осмотре деталей сливных приборов выявляют трещины, надрывы, раковины, отколы и другие пороки. Детали, требующие сварочно-наплавочных работ, механической обработки, направляют на соответствующие участки и отделения вагонного депо.

При **ремонте сливных приборов** в специализированном отделении депо особое внимание уделяется состоянию рабочих поверхностей клапана и седла, которые не должны иметь дефектов, нарушающих плотность их при-

легания. При сборке сливного прибора на вагоне обращается внимание на состояние штанги, стойки и других деталей. Штанга должна быть ровной, с чисто обработанными поверхностями для соединения с клапаном, иметь исправную нарезную часть без подрезов, заусениц и забоин, надрывов и трещин. Не допускаются изгиб в средней части штанги, трещины в стойке, отколы и пр. От неправильной сборки частей может происходить течь сливных приборов, поэтому при ремонте цистерн в депо необходим строгий контроль качества сборочных операций. Большинство встречающихся неисправностей универсальных сливных приборов является следствием нарушения порядка их использования. Так, например, часто теряется нижняя крышка сливного прибора со скобой, крепежные детали и пр. При деповском ремонте цистерн нижние части сливных приборов восстанавливают.

Предохранительные клапаны цистерн снимают с котлов, разбирают, проверяют, ремонтируют и испытывают в специализированном отделении вагонного депо. Отделение для ремонта сливных приборов и предохранительных клапанов размещают в специальном производственном помещении, оборудованном стеллажами для неисправных и отремонтированных приборов, моечными ваннами с эффективными местными отсосами воздуха, стендами для разборки и осмотра приборов, их испытания после сборки.

Кузнечно-прессовое отделение входит в состав ремонтно-комплектовочного участка. Ремонтную программу по кузнечным работам определяют с учетом обеспечения потребности вагонсборочного участка депо в поковке на заданный объем ремонта вагонов, в новой поковке для изготовления инструментов и приспособлений, а также потребностей пунктов технического обслуживания вагонов и хозяйственных нужд депо. Кроме станочного оборудования необходимы удобные стеллажи и шкафы для хранения инструмента и приспособлений, оснастки для изготовления некоторых вагонных деталей методом штамповки в подкладных штампах на гидравлических или фрикционно-винтовых прессах с усилием 400 и 1500 кН. Снимаемые с вагонов трубы тормозной воздушной магистрали можно восстанавливать для повторного использования, применяя приспособление ПКБ ЦБ МТС для газопрессовой сварки или газопрессовые станки. Возможна также газопрессовая и электроконтактная сварка тормозных тяг и пр.

В общем объеме работ отделений важное место занимает процесс нагревания заготовок. Для этой цели применяют пламенные и электрические нагревательные печи. Процесс нагрева заготовок в *пламенных печах*, как правило, отстает от темпа работы ковочных и штамповочных агрегатов. Эти печи дают большие потери металла, достигающие 5–6 % от выданной продукции. При нагреве заготовок в *электрических печах* указанные недостатки отсутствуют. *Индукционный нагрев*, который позволяет осуществить высокие скорости нагрева и полную автоматизацию, исключает перегрев и окалину и

существенно улучшает условия труда. Индукционные печи получают питание от машинных или ламповых высокочастотных генераторов. Расход электроэнергии при индукционном нагреве составляет 400–500 кВт·ч на 1 т нагреваемого металла. КПД кузнечных электрических печей примерно в 10 раз выше, чем топливных. Сравнение пламенных печей, работающих на мазуте и газе, с электронагревательными по расходам средств на энергоноситель показывает экономическое преимущество электронагрева. Для длинных и тонких (до 50 мм) профилей наиболее удобен *контактный электронагрев*. Расход электроэнергии при этом составляет 300–350 кВт · ч на 1 т нагреваемого металла. При большом объеме клепальных работ с успехом применяются *электрические горны* для нагрева заклепок. Заклепка нагревается до температуры 900...1000 °С, питание горна производится током промышленной частоты от общей сети предприятия. Для нагрева металлических изделий до температуры 950 °С включительно можно применять *шахтные электропечи* с нагревательными элементами в виде спиралей из нихромовой проволоки (ПН-31, ПН-32 и др.).

Указанные выше методы нагрева применяют в депо: при свободной ковке заготовок под электропневматическими молотами; штамповке некоторых деталей вагонов в подкладных штампах; восстановлении деталей осадкой, раздачей, обжатием на прессовом оборудовании; пайке металлов; поверхностном упрочнении (высокочастотная закалка при обработке шеек коленчатых валов дизелей кулачков, шестерен и шеек распределительных валов, внутренних поверхностей гильз цилиндров и пр.). Для кузнечной правки деформированных деталей вагонов, хозяйственных нужд депо и других мелких кузнечных работ применяют одно- и двухогневые горны, наковальни, правильные плиты, ванны для охлаждения деталей и ручного инструмента и пр.

Ремонт пружин и эллиптических рессор подвешивания тележек вагонов с полной термической обработкой целесообразно производить централизованно в отдельных вагонных депо по принципу кооперации между предприятиями вагонного хозяйства на конкретном полигоне железной дороги. *Рессоры* рефрижераторных вагонов ремонтируют путем замены неисправных листов и хомутов новыми, прошедшими термическую обработку и заранее подготовленными. *Пружины* тележек вагонов, подлежащие ремонту, подвергают калибровке в нагретом состоянии с восстановлением шага и высоты пружины и термической обработке. Восстановленные рессоры и пружины принимают из ремонта лишь после выполнения полного комплекса их испытаний согласно техническим условиям. Основные неисправности элементов центрального подвешивания тележек и способы их устранения при деповском ремонте вагонов представлены в таблице 2.19.

Термическая обработка листов рессор и пружин заключается в их закалке с последующим отпуском. Листы нагревают одновременно под сгибание

и под закалку. Правку и закалку пружин необходимо производить с одного нагрева. Время с момента выемки из нагревательной печи до погружения в закалочную среду не должно превышать 25 с, а температура металла не должна быть ниже 780 °С. Отпуск производят с минимальным разрывом времени после закалки, продолжительность выдержки в нагревательной печи при температуре отпуска должна быть 40–50 мин.

Т а б л и ц а 2.19 – Основные неисправности рессор и пружин

Вид неисправности	Способ устранения
Выработка и коррозионный износ рессорных листов; сдвиг, излом или трещины листов	Рессору разбирают, дефектные листы заменяют новыми или исправными старыми; рессору собирают вновь
Стрела прогиба рессорных комплектов более допустимых размеров	Рессору разбирают, все листы подвергаются сгибанию и термической обработке
Износ торцов коренных листов эллиптических рессор на величину более 3 мм	Рессору разбирают. Изношенные торцы подвергают газовой наплавке прутками из стали 55С2. После наплавки коренной лист подвергают термообработке
Сдвиг хомута, зазоры между хомутом и листами в свободном состоянии рессоры более допустимых	Хомут снимают, нагревают, ставят вновь и обжимают по месту на прессе
Трещины и надрывы хомута, вытертости поверхности и забоины на хомуте более 2 мм	Хомут снимают и заменяют исправным. Хомуты ремонтируют сваркой при наличии забоин и протертостей на боковых поверхностях и торцах не более 25 % площади поперечного сечения
Просадка винтовых пружин по высоте более допускаемой правилами ремонта	Пружины нагревают, восстанавливают шаг завивки и подвергают термообработке
Трещины, изломы и отколы витков пружин, протертости или коррозионные повреждения более 10 % площади поперечного сечения витка	Пружины не ремонтируют

Рессоры тележек вагонов в зависимости от технического состояния можно ремонтировать в **пружино-рессорном отделении** депо без разборки, с частичной или полной разборкой. Поступающие в отделение рессоры подают на плиту сортировки для осмотра и выявления объема ремонта. Не требующие разборки рессоры испытывают на прессе под пробной нагрузкой на отсутствие остаточных деформаций и под рабочей статистической нагрузкой на прогиб. Рессоры, выдержавшие испытания, подают на стол контроля измерительным

инструментом и визуально (с постановкой знаков маркировки). Затем эти рессоры в кассетах передают кран-балкой в смазочную ванну, на приспособление для окраски и на площадку-накопитель отремонтированных рессор.

При ремонте рессор с разборкой, но без термообработки листов, рессорные листы подают для отбраковки на плиту дефектовки. При отсутствии дефектов листы подают на стол комплектовки, где их смазывают, собирают в комплект и скрепляют шпилькой. Затем собранный комплект сжимают на специальном прессе и расклепывают шпильку. На следующих двух стендах надевают хомут, предварительно нагретый в нагревательной печи, и обжимают по месту при помощи гидравлического пресса. Восстановленные рессоры по транспортеру передаются на испытательный стенд. Если на плите дефектовки бракуют рессорные листы, то недостающие для комплекта пополняют новыми или отремонтированными, прошедшими термическую обработку. В указанном случае для изготовления рессор используют полосовой прокат желобчатого прямоугольника сечения.

Технологический процесс изготовления рессор складывается из следующих операций:

- резка заготовок листов по размеру и обрезка концов по трапеции на вырубном прессе (или в подкладном штампе);

- сверление и зенкование отверстий в листах, в наконечниках;

- гибка и закалка листов с одного нагрева в гибозакалочной машине (время нагрева – 30–35 мин, температура нагрева 900...950 °С, температура масла 18...80 °С);

- отпуск рессорных листов в нагревательной печи – не позже, чем через 4 часа после закалки (сокращение разрыва времени после закалки при отпуске с целью избежания образования закалочных трещин) при температуре 460...510 °С в течение 35–40 мин (средний отпуск для сталей 55С2 и 60С2);

- контроль листов (после термообработки) на твердость, подбор листов в секцию;

- сборка листов в секции на центральную заклепку и установка хомута в горячем состоянии с двухкратным обжатием на гидравлическом прессе;

- испытание секции рессоры под нагрузкой, сборка секций в полукомплект, подбор комплекта и испытание рессоры на рабочую нагрузку.

Последовательность выполнения операций *при восстановлении старогодных листов рессор* следующая. Подлежащие ремонту подготовленные рессорные листы подаются в двухкамерную нагревательную печь для отжига. Прошедшие отжиг листы рихтуют и подвергают закалке в гибозакалочной машине с последующим отпуском в двухкамерной нагревательной печи. Охлажденные листы поступают на площадку-накопитель и далее для испытания на твердость на пресс Бринелля. Твердость листов после термообработки должна быть в пределах НВ 363–432 (кг/мм²). При отклонениях от

указанной нормы листы разрешается исправлять повторной термической обработкой. Испытанные на твердость листы подают на позиции сборки и комплектовки рессор. Перед сборкой рекомендуется производить *упрочнение листов рессор* методом пластического деформирования поверхностного слоя металла в холодном состоянии (*наклепом*). При этом повышается предел прочности и твердость наклепанного слоя, а пластические свойства снижаются (повышается износостойкость). В поверхностном слое создаются остаточные сжимающие напряжения, обуславливающие повышение усталостной прочности. Наклеп осуществляется с вогнутой стороны листов на дробеструйном аппарате. Дробь – диаметром 0,8–1,2 мм, подача – 60–90 кг/мин при частоте вращения турбин 2300 об/мин и скорости перемещения конвейера 4 м/мин. Аналогично производят *наклеп винтовых пружин*. При глубине наклепанного слоя 0,2 мм срок службы пружин увеличивается на 80–95 %.

Цилиндрические пружины изготавливают в такой последовательности:

- резка прутков на заготовки нужной длины, нагрев концов заготовок до температуры 820...950 °С и оттяжка их на длину 1/3 длины окружности витка пружины, шириной не менее 0,7 диаметра прутка (оттяжку выполняют на кузнечных молотах или ковочных вальцах);

- навивка и закалка пружины с одного нагрева при температуре 900...950 °С, выравнивание шага витков на калибровочном прессе, проверка высоты пружины. (Если с одного нагрева невозможно навить и закалить пружину, то после навивки производят повторный нагрев под закалку и восстановление шага пружины. Закалочная среда для крупных пружин при диаметре прутка более 25 мм – вода, до 25 мм – масло);

- отпуск в электронагревательной печи для улучшения механических свойств и устранения внутренних напряжений. (Температура отпуска 480...520 °С, после отпуска пружины охлаждают в воде до температуры 100 °С. Твердость отпущенной пружинной стали должна составлять НВ 370–440 или HRC 40–47);

- сжатие пружин (до соприкосновения витков) на снятие остаточных деформаций после охлаждения с выдержкой 5–8 с;

- обработка торцов пружин на шлифовально-обдирочных или лобовых станках;

- наклеп пружин в дробеметной установке;

- испытание на прогиб.

Винтовые цилиндрические пружины, подлежащие ремонту (просевшие), со стола сортировки поступают в двухкамерную нагревательную печь для отжига (температура отжига – не менее 900 °С), а затем на станок для восстановления шага витков и закалку. Далее термическая обработка пружин продолжается в камере отпуска двухкамерной нагревательной печи. Охлаждают пружины после отжига в водной среде, а затем испытывают на прессе. Выдержавшие испытание пружины обрабатывают по торцам на специали-

зированном наждачном станке и проверяют мерительным инструментом на столе окончательного осмотра. Принятые пружины маркируют и направляют после окраски и сушки на площадку накопления и выдачи. Пружины, не выдержавшие испытания на прессе, подвергают повторному ремонту при отсутствии трещин и отколов.

Для повышения несущей способности пружин применяется их заневоливание двумя способами: сжатие до соприкосновения витков и выдержкой в сжатом состоянии 12–48 часов, многократным сжатием на специальном стенде. После снятия нагрузки в поперечном сечении прутка пружины образуются остаточные напряжения, противоположные по знаку рабочим напряжениям. Расчетная жесткость заневоленной пружины в 2,9 раза выше.

При ремонте хомутов листовых рессор сваркой допускаются: заварка трещин или изломов по сварному соединению или вдоль него; заварка не более одной трещины по основному металлу хомута при условии, что после разделки под сварку она не уменьшит площадь сечения стенки хомута более чем на 50 %; наплавка мест, вытертых или поврежденных в результате ударов, при условии, что толщина сечения в месте расположения дефекта – не менее 75 % номинального размера. При изготовлении новых хомутов выполняют сварку встык по основному металлу. Изготовленные или отремонтированные хомуты подвергают термообработке (отжигу).

Отремонтированные в отделении эллиптические рессоры тележек вагонов должны быть испытаны в соответствии с указаниями, приведенными в таблице 2.20.

Таблица 2.20 – Испытания рессор

Вид испытаний	Способ выполнения	Технические условия
Проверка на остаточную деформацию	Рессору нагружают на прессе пробной нагрузкой не менее двух раз. После снятия нагрузки измеряют высоту рессоры в свободном состоянии. Вторично нагружают рессору пробной нагрузкой и вновь измеряют ее высоту	Высота рессоры, измеренная в свободном состоянии до и после вторичного нагружения, должна оставаться неизменной
Испытание на прогиб от рабочей статической нагрузки	Рессору плавно нагружают до рабочей нагрузки и замеряют прогиб. Нагрузку повышают до пробной, а затем плавно снижают до рабочей. Вторично замеряют прогиб	Разность между полусуммой измеренных прогибов и расчетным прогибом, отнесенная к расчетному прогибу, не должна превышать +8 %

При испытании винтовых цилиндрических пружин тележек вагонов замеряют прогиб при рабочей нагрузке и сравнивают с расчетным значением. Разность не должна превышать +12...–8 % от расчетного прогиба. Каждая отремонтированная пружина и рессора должны быть приняты мастером или брига-

диром. Приемщик вагонов в депо имеет право производить контрольную проверку качества ремонта. Контрольная проверка пружин и рессор производится до их окраски в количестве 3 % от партии, но не менее 3 шт. После испытания, приемки и клеймления исправные пружины и рессоры покрывают битумной краской БТ-117 или черной эмалью ПФ-68 воздушным, безвоздушным распылением в окрасочных камерах или окунанием. Если по условиям проектирования рессорные хомуты, листы рессор, прошедшие термическую обработку, и винтовые цилиндрические пружины следует поставлять в депо по кооперации, то ремонт рессор в депо может планироваться только путем замены неисправных элементов заранее подготовленными. В этом случае ремонт целесообразно осуществлять на производственной площади кузнечно-прессового отделения. Показателем правильности сборки подвешивания являются горизонтальное расположение рам тележек на выверенном горизонтальном участке пути от веса кузова, установленные зазоры, разность высот и пр.

В таблицах 2.21–2.22 указаны технические характеристики нагревательных печей для термообработки листов рессор и пружин.

Таблица 2.21 – Техническая характеристика шахтных электропечей с нихромовыми нагревателями

Показатель	Тип печи			
	Ш-35 Т	Ш-55 Т	ПН-31*	ПН-32*
Производительность, кг/ч	125	230	100	280
Мощность, кВт	35	55	24	36
Напряжение, В	380	380	380	380
Рабочая температура, °С	950	950	650	650
Габаритные размеры печи, мм:				
в плане	300 x 300	300 x 300	400 x 400	500 x 500
глубина	1200	2000	500	650
*Шахтные электропечи с искусственной циркуляцией воздуха, осуществляемой при помощи вентилятора, установленного на крыше печи. Щит управления: контактор для включения печи, пускатель для двигателя вентилятора, приборы теплового контроля и автоматики.				

Таблица 2.22 – Техническая характеристика камерных электропечей

Показатель	Тип печи				
	Н-15	Н-30	Н-45	Н-60	Н-75
Производительность, кг/ч	50	125	200	275	350
Мощность, кВт	15	30	45	60	75
Рабочая температура, °С	950	250	950	950	950
Время разогрева печи, ч	5	6	7	8	10
Габаритные размеры, мм:					
ширина	300	450	600	700	400
длина	650	950	1200	1500	1800
высота	250	450	500	550	600

2.3.6 Ремонтно-комплектовочный участок

Слесарно-механическое отделение ремонтно-комплектовочного участка служит для сортировки деталей вагонов по износу и видам ремонта, механической обработки отремонтированных деталей, комплектовки сборочных единиц и узлов вагонов, а также для обеспечения потребности в деталях для ремонта производственного оборудования, изготовления механизмов и приспособлений, частичного изготовления метизов и шплинтов. Требуемое количество металлорежущего оборудования для выполнения заданной программы ремонта вагонов определяют расчетом. С достаточной точностью для проектных целей количество основного металлорежущего оборудования депо может быть определено по установленному на ремонт одного вагона расходу станко-часов (таблица 2.23).

Таблица 2.23 – Расход станко-часов на ремонт вагонов

Наименование оборудования	Норма станко-часов по типам вагонов			
	крытый	полувагон	платформа	цистерна
Станки:				
токарные	2,3	1,9	1,9	1,3
вертикально-сверлильные	0,5	0,5	0,4	0,4
поперечно-строгальные	1,4	1,2	1,1	0,7
фрезерные	0,5	0,4	0,4	0,3
болторезные	1,1	0,7	1,1	0,7
колесотокарные	1,8	1,5	1,5	1,1
гайконарезные	1,8	1,5	1,5	1,1
токарно-накатные	1,4	1,3	1,3	0,9
деревообрабатывающие	6,3	6,2	6,0	5,1
Электрогазосварочные агрегаты	1,3	1,1	1,1	0,7

Расстановку станков, стеллажей для заготовок, тумбочек и шкафов для инструмента осуществляют с учетом обеспечения проходов и возможности транспортировки крупногабаритных деталей и контейнеров, выполнения требований безопасности и промышленной санитарии.

Электросварочное отделение вагонного депо предназначено для восстановления изношенных деталей электронаплавкой и заварки трещин, допускаемых по правилам выполнения сварочных работ при деповском ремонте грузовых вагонов. При проектировании необходимо предусматривать наиболее эффективные технологические процессы восстановления деталей вагонов и прогрессивное технологическое оборудование. Примерная схема технологической планировки электросварочного отделения грузового вагонного депо при использовании полуавтоматической электро-сварки порошковой проволокой и сварки в среде углекислого газа представлена на рисунке 2.26.

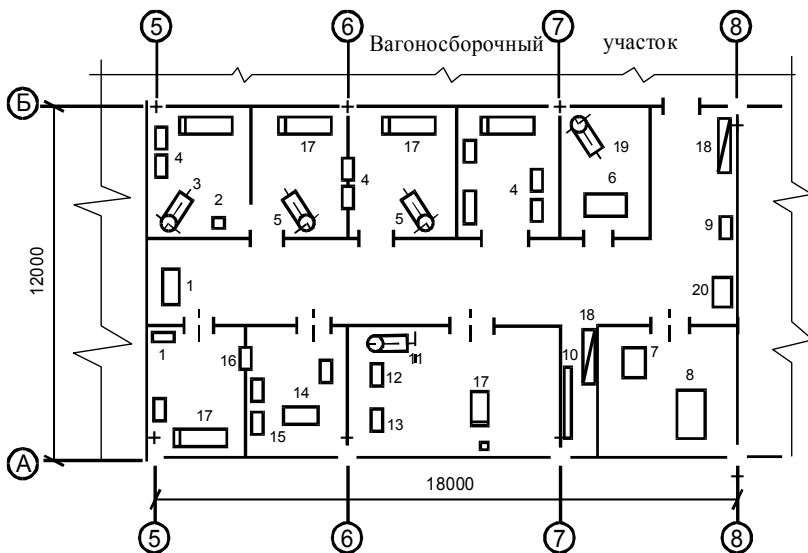


Рисунок 2.26 – Схема планировки электросварочного отделения:

1 – верстак; 2, 12 – шкафы управления полуавтоматом; 3 – сварочный полуавтомат А-1197; 4 – реостат; 5 – сварочный полуавтомат А-765 для сварки под слоем флюса; 6 – приспособление для наплавочных работ; 7 – выпрямитель ВДМ-3001; 8 – распределительный щит; 9 – автомат для рубки проволоки; 10 – шкаф для инструмента; 11 – полуавтомат сварочный; 13 – трансформатор ТД-500; 14 – сварочный автомат А-87411 для сварки под флюсом; 15 – выпрямитель ВД-301; 16 – выпрямитель ВДУ-1001; 17 – стол сварщика; 18 – стеллаж; 19 – полуавтомат А-537 для сварки в среде защитного газа; 20 – шкаф сушильный

Восстанавливать наплавкой разрешается детали, имеющие износы не выше указанных максимальных по технической документации, утвержденной в установленном порядке. Эти детали следует доводить до чертежных размеров независимо от вида ремонта вагонов. Механические свойства наплавленного металла должны быть аналогичны основному металлу детали. Твердость наплавленного металла не должна превышать пределы, установленные технической документацией. Процесс очистки деталей перед сваркой и наплавкой, как правило, производят *механизированными способами* с применением специального инструмента, армированных абразивных кругов, стальных проволочных щеток, устройств ударного типа и др. Допускается *газопламенная* очистка дефектных мест с обязательным удалением остатков окислов и сгоревшей краски. Для дуговой резки при удалении дефектных швов, разделки трещин и выполнения скосов на кромках элементов, изготовленных из углеродистых и низколегированных сталей, применяют специальные электроды (например, марки ОЗР-2). После резки кромки деталей и сборочных единиц должны быть очищены от натеков, шлака и капель металла.

Разделку трещин выполняют на всю глубину залегания до целого металла и на 15–20 мм далее видимых границ начала и конца трещин. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей, размеры выполненных швов и предельные отклонения по ним должны соответствовать: ГОСТ 14771 – для дуговой сварки в защитных газах; ГОСТ 8713 – дуговой сварки под слоем флюса; ГОСТ 5264 – ручной электродуговой сварки; ГОСТ 14806 – дуговой сварки алюминиевых сплавов; ГОСТ 15164 – электрошлаковой сварки; ГОСТ 15878 – контактной сварки. *Стыковой шов* уголков или швеллеров выполняют с двух сторон по V-образной разделке с подрубкой корня шва. Стали сваривают дуговой, электрошлаковой, газовой, газопрессовой, контактной сваркой. Режим сварки выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла и типа шва (однослойный, многослойный). Сварку чугуна применяют главным образом при восстановлении отливок и ремонте вышедших из строя деталей специального оборудования (корпуса насосов, электродвигателей и др.). Подготовку кромок под сварку выполняют только механическим способом.

При всех видах ремонта не допускаются: отклонения в размерах швов в сторону увеличения более 2 мм, волнистость шва более 2 мм при наличии резких переходов от одного сечения шва к другому. Эти дефекты должны быть исправлены путем зачистки, частичного или полного удаления и дополнительно подварены или заварены до размеров, предусмотренных чертежами и стандартами. Автоматическую и полуавтоматическую сварку углеродистых и низколегированных сталей под флюсом выполняют стальной сварочной низкоуглеродистой проволокой в сочетании с флюсом. Автоматическая установка постоянного тока для наплавки поверхностей с преобразователем ПС-500 (генератор СГ-500 и трехфазный асинхронный электродвигатель мощностью 28 кВт) рассчитана на максимальный ток 500 А, номинальное рабочее напряжение – 40 В, напряжение холостого хода – 60–90 В; наплавка – при обратной полярности (электрод – плюс, изделие – минус). Электродная проволока – СВ-08 СВ-10Г, химический состав: С = 0,1 %; Мп = 0,82 %, Si = 0,36 % и С = 0,12 %; Мп = 1,5...1,9 %; Si = 0,3 %. Твердость наплавленного металла – НВ 170–190 (при твердости основного металла, например автосцепки, НВ 150–160). Диаметр отверстия наконечника – 2,8 мм для проволоки диаметром 2 мм и 1,8 мм – для проволоки диаметром 1,6 мм. Флюс – АН-348 Н в виде желтых или светло-бурых стекловидных зерен (перед употреблением флюс подсушивается).

Дефекты сварки под слоем флюса и причины их возникновения:

1 *Пористость*. Наблюдается при неочищенных поверхностях (от грязи, масла, ржавчины) или при сварке по старой наплавке тонкообмазанными электродами (скорость наплавки поверхности детали, наваренной ранее электродами с тонким покрытием, – не свыше 6 м/ч).

2 Наплавки и пропуски:

а) неправильная установка электродов, т. е. угол наклона электрода к вертикали менее 15° и более 45° , вследствие разработки отверстий в наконечниках, что приводит к отсутствию надлежащего контакта электрода с мундштуком;

б) неустойчивое напряжение сварочного тока;

в) износ роликов подающего механизма;

г) нарушение скорости сварки.

3 Трещины в наплавленном металле:

а) несоответствие сварочной проволоки и флюса техническим условиям;

б) несоблюдение режима сварки по величине сварочного тока и скорости сварки.

4 Непровар между наплавленным и основным металлами:

а) несоответствие подачи электродной проволоки и величины сварочного тока;

б) большой вылет электрода от контактной поверхности мундштука.

5 Шлаковые включения. Возникают при многослойной наплавке в результате плохой очистки шлаковой корки (наплавленный металл с указанными выше дефектами следует вырубить и эти места вновь наплавить).

6 Подрез (узкое углубление в основном металле вдоль наплавленного шва более 0,5 мм). Возникает в результате завышенного напряжения сварочной дуги (более 40 В) и неправильного положения электродов.

Затраты материалов, электроэнергии и рабочей силы на ремонт деталей вагонов электронаплавкой приведены в таблице 2.24.

Т а б л и ц а 2.24 – Затраты материалов, рабочей силы и электроэнергии на единицу продукции

Наименование работ, способ сварки		Электродная проволока, кг	Флюс, кг	Рабочая сила, чел·ч	Электроэнергия, кВт·ч
Наплавить два паза буксы колесной пары	Полуавтоматическая под флюсом	3,0–3,5	2,8–3,2	1,2	14–15
	Ручная электро-сварка электродами Э42	6,5–7,5	–	3,0	40–45
Наплавить тяговые поверхности малого, большого зуба и перемычку хвостовика корпуса головки автосцепки	Полуавтоматическая под флюсом	1,0–1,2	0,8–1,0	1,0	4,5–5,0
	Ручная электро-сварка электродами Э42	3,5–4,2	–	2,0	20–25
Наплавить гребень обода колесной пары колеи 1520 мм	Автоматическая под флюсом	3,0–3,5	2,8–3,2	0,50	14–15
	Ручная электро-сварка электродами Э42	7,0–8,0	–	2,0	38–40

При сварке металлов плавлением в процессе их нагрева и последующего охлаждения возникают значительные температурные напряжения и деформации в результате неравномерного нагрева, усадки наплавленного металла при переходе его в твердое состояние, структурных изменений наплавленного и основного металлов в зоне термического воздействия, сопровождающихся изменением объема. Полностью устранить сварочные деформации часто не удастся. Поэтому при необходимости возможно применение правки сваренных или наплавленных изделий. Правку производят в холодном или нагретом состоянии механическим путем или наложением ложных швов, которые деформируют изделие в направлении, противоположном деформациям, вызываемым сваркой. Для уменьшения сварочных напряжений предусматривают высокий отпуск после сварки.

Деформации, вызываемые сваркой или наплавкой, можно предупредить или уменьшить:

- правильным выбором способа и режима сварки;
- соблюдением порядка наложения швов;
- применением предварительного нагрева деталей перед сваркой;
- деформированием деталей перед сваркой в обратном направлении на величину предлагаемой деформации путем изгиба, растяжения и т. д.; увеличением размеров заготовок на величину продольной и поперечной усадок;
- увеличением отвода тепла от свариваемого изделия; жестким закреплением свариваемых элементов или применением ребер жесткости.

Для уменьшения сварочных напряжений и деформаций нельзя допускать скопления сварных швов и пересечений их друг с другом. С целью уменьшения концентрации напряжений желательно удалять сварные швы от массивных выступающих частей, отверстий и пр. Для предотвращения возникновения в конструкциях напряжений и деформаций при сварке, величина и характер которых снижают несущую способность этих конструкций, предусматривают ряд конструктивных и технологических мероприятий.

Конструктивные мероприятия:

- 1) компенсация продольных и поперечных деформаций сварной конструкции за счет увеличения припусков;
- 2) исключение деформации кручения (пропеллерность) сварных элементов, тавровых и угловых соединений за счет постановки в местах сопряжения с другими элементами (или там, где деформации нежелательны) диафрагм, ребер жесткости и т. п.

Технологические мероприятия:

- 1) замена ручной дуговой сварки автоматической сваркой под флюсом, автоматической и полуавтоматической сваркой в углекислом газе, аргоне и смеси газов, порошковой проволокой, активированной проволокой без дополнительной защиты с целью уменьшения зоны пластической деформации;

2) уменьшение сечения шва за счет применения сварочных материалов, обеспечивающих более высокую прочность металла шва;

3) применение двусторонней сварки, автоматической сварки однослойных швов любой длины и ручной дуговой сварки коротких швов (до 300 мм) за один проход (т. е. от начала до конца без длительных перерывов);

4) заварка швов средней длины при ручной дуговой сварке двумя участками от середины к концам, обратно – ступенчатым или комбинированным способом;

5) применение предварительного или сопутствующего подогрева при заварке трещин, сварке толстолистового проката и пр.

Для полного снятия напряжений сварные соединения в особых случаях подвергают термической обработке: полному отжигу, нормализации или высокому отпуску. Термическую обработку следует применять в тех случаях, когда работоспособность и надежность металлоконструкции после сварки нельзя обеспечить другими средствами.

Механическую обработку сварных соединений и прилегающей зоны основного металла необходимо выполнять по всей линии сплавления до получения чистой, блестящей поверхности и плавных переходов от металла шва к основному металлу. Значительное снижение остаточных напряжений в сварных соединениях может быть достигнуто *проковкой швов* в процессе остывания металла при температурах 450 °С и выше либо 150 °С и ниже. Проковку можно выполнять вручную молотком или пневмоинструментом. Ее, как правило, следует применять для снижения остаточных напряжений при заварке трещин и замыкающих швов жестких конструкций.

Поверхностному наклепу пневматическими молотками (типа КМП-31 и др.) с многобойковыми упрочнителями подвергают места с концентраторами напряжения – границы шва и основного металла и прилегающие к ним зоны. Продолжительность поверхностного наклепа 1 м сварного шва должна составлять 12–15 мин при ширине наклепанной зоны с каждой стороны шва не менее 15–20 мм. Оплавлению при помощи аргонодуговой обработки подвергают единицы шва с основным металлом с целью создания плавного перехода в этой зоне, ликвидации подрезов и поверхностных неметаллических включений. Аргонодуговой обработке (на постоянном токе прямой полярности серийными держателями, предназначенными для сварки вольфрамовым электродом в защитных газах) подвергают сварные соединения низкоуглеродистых, низколегированных и термически упрочненных сталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках (конструкции рам вагонов, тележек). Для оплавления используют газообразный аргон, вольфрам в виде прутков; при обработке элементов конструкций толщиной более 12 мм оплавление производят с введением в зону электрической дуги сварочной проволоки С_в-08Г2С диаметром 1,6–2,0 мм. Ширина оплавленной линзы

должна быть не менее 6 мм и располагаться симметрично относительно сварного шва и основного металла.

Все обработанные швы не должны иметь подрезов или их следов, пор, раковин и других дефектов. Специальной упрочняющей обработке (термической, механической, проковке, поверхностному наклепу, оплавлению) следует подвергать сварные соединения для уменьшения концентрации напряжений и остаточных напряжений в особых случаях, оговоренных технической документацией.

2.3.7 Деревообрабатывающее отделение

Изготовление и реставрацию досок обшивки кузова грузовых вагонов производят в **деревообрабатывающем отделении** депо. Деревянную обшивку кузова вагона изготавливают из досок толщиной 40 мм, на продольных сторонах которых обрабатывают паз и гребень (ширина без гребня – 110 мм). В крытых вагонах на стенах снизу устанавливают обшивку толщиной 35 мм на 2/3 высоты кузова, верхние доски имеют толщину 22 мм, пол собирают из досок толщиной 55 мм при ширине не менее 130 мм. На продольных сторонах их выполняют выборку «в четверть». Деревянный пол платформ настилают из досок толщиной 60 мм прямоугольного сечения и т. д.

Комплексная механизация технологических операций в специализированных отделениях позволяет создавать поточно-конвейерные линии для изготовления и реставрации бывших в употреблении деталей. Возможная планировка такого отделения депо представлена на рисунке 2.27.

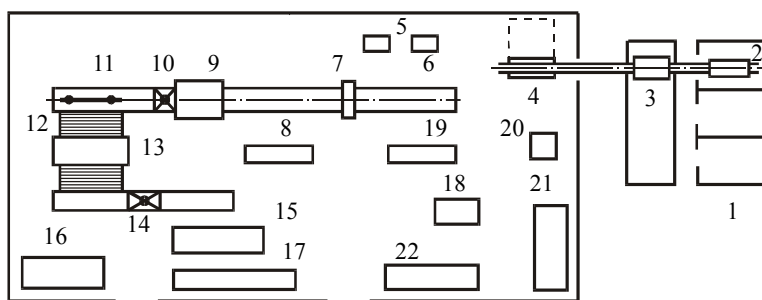


Рисунок 2.27 – Схема технологической планировки деревообрабатывающего отделения:

1 – сушильная камера; 2 – технологические транспортные тележки; 3 – трансбордерная тележка; 4 – площадка-накопитель с подъемником; 5, 7 – станки для раскроя заготовок по длине и ширине; 6 – конвейерная линия; 8, 19 – контейнеры для отходов после обработки досок; 9 – четырехсторонний строгальный станок; 10 – камера грунтовки; 11 – приспособления для сверления отверстий; 12 – поперечный транспортер; 13 – камера сушки; 14 – окрасочная камера; 15 – сушильная камера; 16 – стеллаж промежуточный; 17 – стеллаж готовой продукции; 18 – универсальный деревообрабатывающий станок типа УДС-2; 20 – торцовочный станок; 21 – верстак с прессом для склеивания досок; 22 – стеллаж для сушки склеенного материала

В отделении предусматривают производственные площади для хранения пиломатериалов, сушки, реставрации досок обшивки, станочной обработки заготовок, хранения изготовленных и реставрированных деталей вагонов. **Площадка хранения пиломатериалов** оборудована козловым краном. На **площадке реставрации досок обшивки** вагонов располагают: стенд-пресс для сборки стыкованных досок, стенд для приготовления клеящих составов. При обработке и механизированной грунтовке столярных деталей применяют полуавтоматическую установку для изготовления досок обшивки, которая представляет собой комплекс механизмов и приспособлений, соединенных в технологическую линию и управляемую с общего пульта. При помощи механизма подачи доски, поступившие из камеры сушки, разгружаются непосредственно на конвейерную линию, на стол раскроя по длине. Перемещаются доски вдоль стола цепным транспортером с захватами. При помощи концевого выключателя включается поперечная циркулярная пила, и отпиленная по размеру доска подается транспортером на приемный стол четырехстороннего станка. На выходе станка устанавливают окрасочно-грунтовочную камеру. Специальными толкателями доски обшивки перекадываются на поперечный транспортер и подаются в сушильную камеру. Загрунтованные, высушенные доски можно размещать на промежуточных стеллажах, а при необходимости – окрашивать и сушить в камере. На **площадке хранения готовой продукции** доски сортируют по длине, ширине, толщине и по профилям поперечного сечения.

Пиломатериалы, поступающие на склад депо, имеют стандартную длину, ширину и толщину. Величины припусков на обработку для получения готовых деталей установлены нормальными, разработанными применительно к требованиям и принятой в депо технологии. Для чистовой обработки можно использовать только пиломатериал, прошедший сушку в сушильных камерах. Режим обработки заготовок определяется по паспортным данным станков. Стружка и опилки с рабочих мест убираются с помощью пневматических отсосов.

Один из вариантов **расстановки оборудования для обработки деревянных деталей на поточной линии с цепным транспортером** (в последовательности выполнения операций) следующий:

- четырехсторонний строгальный станок;
- два универсально-фрезерных станка, установленных последовательно;
- кантователь;
- универсальный станок для сверления отверстий и выборки пазов в деталях;
- камера грунтовки;
- рольганг для разгрузки поточной линии.

При помощи транспортера предварительно высушенный и отторцованный пиломатериал поступает для чистовой обработки на четырехсторонний

строгальный станок. Затем при помощи универсальных фрезерных станков выполняются соответствующие работы последовательно с правой и левой сторонами деталей. Далее сверлят отверстия, выбирают пазы, поворачивая заготовки перед поступлением на станок с помощью приспособления. Заключительной операцией при изготовлении новых деревянных деталей вагонов является нанесение покрытия на их поверхности в специальной камере грунтовки. Обработанные детали с помощью наклонного рольганга передаются на площадку складирования для последующей транспортировки к месту установки. Если при изготовлении детали какую-то технологическую операцию выполнять не нужно, соответствующее оборудование отключают, и деталь перемещают мимо него транспортерами.

В зоне обслуживания поточной линии и отдельных станков необходимо соблюдать санитарные нормы по уровням шума, вибрации, освещенности и др. Для уменьшения шума от работающих станков устанавливают **звукопоглощающие экраны-камеры**. Устройство только одной звукозащитной камеры для четырехстороннего строгального станка в несколько раз снижает уровень шума в помещении деревообрабатывающего участка. Все пневматические трубопроводы-отсосы для удаления стружки с внутренней стороны покрывают шумопоглощающей изоляцией. В отдельных случаях работники участка применяют средства индивидуальной защиты от воздействия шума и вибрации.

Количество потребного основного деревообрабатывающего оборудования с достаточной точностью может быть определено по установленному на ремонт одного вагона расходу станкоагрегаточасов по типам вагонов: крытый – 1,8; платформа – 1,5; цистерна – 1,1. Все деревянные детали вагонов перед постановкой по месту сушат, с тем чтобы влажность их не превышала норм, установленных стандартами и правилами ремонта. Несоблюдение норм влажности вызывает разбухание, коробление и трещины у этих деталей, а также отслоение слоя краски от их поверхности и другие пороки. Для деталей грузовых вагонов, выполненных из дерева, установлены следующие **нормы влажности**:

– обшивка стен, доски пола всех вагонов, детали несъемного оборудования, закладки в стенах крытых и изотермических вагонов – 18^{+3}_{-5} %;

– внутренняя обшивка и детали внутреннего оборудования изотермических вагонов – 15^{+3}_{-5} %.

Процент влажности лесоматериала определяют двумя способами: электрическим (электровлагомером) и взвешиванием образцов до и после сушки. *Электрический способ* основан на изменении электропроводности древесины в зависимости от ее влажности. Электровлагомером можно измерить влажность материала толщиной 10–100 мм в пределах от 6 до 13 % с

точностью $\pm 1\%$ и от 13 и до 24 % – с точностью до 2 %. При пользовании прибором необходимо учитывать породу древесины и вводить поправочные коэффициенты.

При определении влажности древесины *взвешиванием образцов* последние вырезаются или высверливаются полым сверлом диаметром 25–30 мм. Масса образца должна быть не менее 10 г. От каждой прибывающей партии берут 3–5 образцов. При этом следует выбирать доски, имеющие по внешнему виду и весу наибольший процент влажности, – ядровые и заболонные. Из каждой отобранной доски, отступая 30–50 мм от торца, вырезают образец толщиной 10–12 мм (по всей ширине доски). Образцы помещают в сушильный шкаф, где должна поддерживаться температура 100...150 °С. Образцы сосновой, еловой и пихтовой древесины сушат 6 ч, а дубовой и лиственной – 10 ч. После установленного срока сушки образцы тщательно взвешивают и опять помещают в сушильный шкаф на 2 ч. Если повторное взвешивание дает одинаковую массу (два последних взвешивания), образцы считаются высушенными, в противном случае их продолжают сушить до тех пор, пока они не перестанут уменьшаться в весе. Процент влажности по полученным весам до и после сушки образцов в сушильном шкафу вычисляют по формуле

$$R = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \cdot 100, \quad (2.28)$$

где R – влажность древесины, %; G_1 – первоначальная масса образца, г; G_2 – масса сухого образца, г.

Одной из основных причин разрушения деревянных деталей вагонов является гниение их под действием грибков. Процесс гниения развивается при влажности древесины от 25 % и выше. Для предохранения древесины от загнивания вагонные детали необходимо покрывать антисептическими пастами. Рабочий состав пасты может быть, например, таким: фтористый натрий технический – 37 %; каменноугольный лак Б – 14, каолин, обогащенный в порошок, – 11, вода – 38 %.

2.3.8 Участок ремонта тормозного оборудования

Техническое обслуживание и ремонт автотормозов в эксплуатации производят на пунктах технического обслуживания вагонов, пунктах подготовки грузовых вагонов к перевозкам, в вагонных депо. При депо вском ремонте автотормозов вагонов снимают и направляют в автоконтрольный пункт (АКП) воздухораспределители, концевые краны, соединительные рукава, авторежимы, авторегуляторы, разобщительные краны и другую арматуру. Для ремонта тормозного оборудования предусматривают специали-

зированные ремонтные участки в контрольном пункте автотормозов: ремонта воздухораспределителей и авторежимов, тормозной арматуры и авторегуляторов рычажной передачи. Ремонт воздухораспределителей и авторежимов производят *поточно-узловым методом*. Тормозные приборы последовательно направляют по конвейеру на ремонтные позиции четырех отделений тормозного участка: наружной очистки и обмывки; разборки и выборочной обмывки; ремонта воздухораспределителей и авторежимов; испытания отремонтированных подкомплектов, воздухораспределителей и авторежимов. На принятом после ремонта и испытания тормозном приборе укрепляют бирку установленной формы и пломбу. На бирке набивают дату ремонта и условный номер АКП. Номер отремонтированного прибора и результаты испытаний регистрируют в журнале.

Арматурный участок АКП чаще всего примыкает к отделению наружной обмывки и располагается в отдельном помещении. Ремонт производят в трех специализированных отделениях: ремонта авторегуляторов рычажных передач, ремонта тормозной арматуры, ремонта соединительных рукавов. После обмывки авторегуляторы по конвейеру направляют в *ремонтное отделение*, где их разбирают, очищают внутренние полости и поверхности деталей регулировочного механизма от грязи и смазки, ремонтируют и испытывают с применением типовой оснастки. После испытания на авторегуляторе закрепляют бирку с клеймами.

В *отделение ремонта тормозной арматуры* поступают концевые, разобшительные краны, экстренного торможения и выпускные клапаны. Вдоль поточной линии размещают типовые столы-верстаки с приспособлениями и оснасткой для разборки, ремонта и испытания.

В *отделении ремонта соединительных рукавов* устанавливают оснастку для их очистки, осмотра, ремонта и испытания. Если рукав имеет повреждения или не отвечает установленным нормам по правилам ремонта, его раскомплектовывают и заменяют неисправные элементы: соединительную головку, штуцер, хомутики, резинотканевую трубку. Снятые головки и штуцеры тщательно очищают, проверяют контрольными шаблонами, ремонтируют и подают для комплектования новых рукавов на специальный стенд. Скомплектованный рукав должен быть подвергнут гидравлическим и пневматическим испытаниям не ранее чем через 24 ч для того, чтобы высох резиновый клей. После испытания на рукавах закрепляют бирки с клеймами.

Часть работы по ремонту пневматического оборудования тормоза осуществляют непосредственно на вагонсборочном участке. Тормозной цилиндр, воздухопроводную магистраль, двухкамерный и запасный резервуары, горизонтальные рычаги и предохранительные скобы осматривают и ремонтируют, как правило, не снимая с вагона. Длинные тормозные тяги снимают с вагона для испытания на прочность и дефектоскопирования. Переднюю крышку тормозного цилиндра вскрывают, вынимают поршень с резиновой

манжетой и войлочным смазывающим кольцом. Резиновую манжету заменяют только при наличии механических повреждений, износа и при сроке службы более 5 лет. Войлочное кольцо заменяют на новое (или отреставрированное), пропитанное тормозной смазкой. Поверхность тормозного цилиндра очищают и смазывают тормозной смазкой. После монтажа всего тормозного оборудования на вагоне производят регулировку, проверку плотности соединений и действия автотормозов с помощью переносной или стационарной установки для опробования тормозов. Качество выполненных работ по ремонту тормозного оборудования в депо контролирует приемщик вагонов.

Для обеспечения вагонного депо, ПТО и АКП сжатым воздухом давлением до 0,8 МПа предназначена **компрессорная станция**, размещаемая в отдельном здании с легким перекрытием. Наиболее распространенными видами компрессоров являются вертикальные воздушные поршневые двухступенчатого сжатия типа ВВ-10/8 с промежуточным холодильником для охлаждения воздуха. Производительность компрессорной станции может составлять до 60 м³/мин (1-я группа) и 61–100 м³/мин и более (2-я группа). Для станции второй группы применяют более мощные компрессоры: ВП-30/8, ВП-50/8, ВП-50/8М. В помещении одной компрессорной станции должно быть не менее двух компрессоров с электродвигателями и устройствами для автоматизации их работы. Эти устройства должны обеспечивать автоматизацию пуска и остановки компрессоров, регулирование производительности компрессоров в зависимости от давления воздуха в водосборнике, продувку холодильников маслководотделителей воздухосборника, разгрузку при пуске и остановке компрессоров, защиту от аварийных режимов в работе, автоматическую аварийную световую и звуковую сигнализацию. А в а р и й н а я с и г н а л и з а ц и я должна включаться:

- при повышении температуры сжатого воздуха до 170...180 °С, а температуры обмотки статора электропривода – свыше 85 °С;
- если давление в системе смазки компрессора 0,1–0,3 МПа (1–3 кгс/см²);
- при прекращении потока охлаждающей компрессор воды или включении системы защиты электродвигателя компрессора.

Проходы для обслуживания компрессоров должны быть шириной не менее 1,5 м, а расстояние от выступающих частей компрессора до стен – не менее 1 м, высота помещения компрессорной – не менее 4 м. Помещение машинного зала компрессорной станции оборудуют приточно-вытяжной вентиляцией с установкой дефлекторов на крыше здания. Производительность компрессорной станции определяют расчетным путем, исходя из потребности в сжатом воздухе для испытания автотормозов в составах, одно-

временно обрабатываемых в парках станции, а также для нужд вагонного депо, ПТО и самого автоконтрольного пункта. Объем воздухоборника $V_{св} = \sqrt{5Q_k}$, где Q_k – подача компрессоров, установленных на станции, м³/мин. Главные воздухоборники (воздушные аккумуляторы) предназначены для выравнивания давления в воздушной сети и сглаживания пульсации, вызываемой работой поршневых компрессоров, для очистки воздуха от масла и воды. Воздухоборники устанавливают на фундаментах вблизи компрессорной, обычно с северной ее стороны на расстоянии 3–5 м от здания на открытом месте. Дополнительные воздухоборники располагают в местах наибольшего расхода воздуха на станции или разветвления стационарного трубопровода на расстоянии 1000 м один от другого.

Станционные разводящие трубопроводы укладывают по кольцевой схеме с уклоном 0,0003–0,0005 по направлению движения сжатого воздуха. Диаметр трубопровода определяют из условия неразрывности потока при средней скорости движения воздуха в сети $\omega = 6...8$ м/с с учетом величины падения давления в наиболее удаленной точке. Потери давления в сети обуславливаются сопротивлением от трения воздуха о стенки по длине трубопровода (потери по длине определяют по формуле Дарси) и местными сопротивлениями в фасонных частях воздухопроводной магистрали, возникающими вследствие вихреобразования и перераспределения скорости движения воздуха при скоростном (динамическом) напоре ($\omega^2/2g$) в частях

трубопроводов, имеющих сложную форму, т. е. $\sum \Delta h = \sum \lambda \frac{l}{d} \frac{\omega^2}{2g} + \sum \xi_i \frac{\omega_i^2}{2g}$,

где – Δh потери давления в сети, м; λ – коэффициент трения воздуха о поверхность трубы; l – длина трубопровода, м; ξ_i – коэффициент местного сопротивления в фасонной части воздуховода (сложной формы).

На территории вагонного депо могут располагать отдельную **компрессорную**, обслуживающую сжатым воздухом всех потребителей по основным и ремонтно-комплектовочным участкам (испытание тормозной системы на вагоне при давлении 0,6 МПа с расходом сжатого воздуха 28 м³/ваг; съемка и постановка фрикционных аппаратов автосцепного устройства вагонов на ВСУ; использование пневмоинструмента при ремонте кузова, ходовых частей и деталей вагонов, подъемно-поворотных кругов для транспортировки колесных пар и тележек, пневмоподъемников и пр.). Компрессорная установка включает: пневмокомпрессор, электродвигатель с пусковой аппаратурой, воздухоборник с маслоотделителем, воздухопровод. Для очистки всасываемого воздуха ставят фильтр на всасывающем трубопроводе. На нагнетательной трубе устанавливают: обратный клапан, отвод холо-

стого хода с пробковым краном для переключения компрессора на холостой ход в момент пуска и остановки, термометр для измерения температуры нагнетаемого воздуха.

При вступлении на дежурство *машинист компрессорной установки обязан:*

- принять все оборудование;
- проверить наличие и исправность контрольно-измерительных (манометр, амперметр, термометр) и предохранительных приборов, инструмента и запасных частей, смазочного материала;

- отметить приемку в книге приема и сдачи дежурств, состояние компрессорной установки в журнале ЯКУ-13 «Учет работы компрессора»;

- произвести в обязательном порядке пробный пуск компрессора.

В процессе работы *машинист ведет наблюдение за компрессорной установкой:*

- надзор за компрессором, электродвигателем и аппаратурой;

- за температурой подаваемого воздуха ($t \leq 170 \text{ }^\circ\text{C}$);

- контролирует подачу и нагрев масла (t – не более $50 \text{ }^\circ\text{C}$).

Немедленную остановку компрессора производят:

- при появлении стуков, ударов или ненормального шума, причины которых машинист установить не может;

- непрерывно повышающемся нагреве каких-либо частей;

- внезапном прекращении подачи воды;

- показаниях манометра выше нормального и несрабатывании регулятора давления на компрессоре, предохранительного клапана на главном резервуаре;

- если амперметр показывает длительную перегрузку, электродвигатель греется ($t = 65 \dots 80 \text{ }^\circ\text{C}$), искрит, чувствуется запах гари или резины; температура нагнетаемого воздуха – более $170 \text{ }^\circ\text{C}$ в случае применения смазочных масел марки Т или авиамасла и свыше $140 \text{ }^\circ\text{C}$ – при использовании масла марки М.

Основные не исправности компрессора :

- износ и поломка поршневых колец;

- заедание поршня, уплотнительных и маслосъемных колец;

- износ и пропуск гнезд и клапанов;

- трещины, перекосы и поломка клапанов;

- коксование масла клапанов, гнезд и колец;

- пропуск прокладок и колец;

- задиры цилиндров, шеек коленчатого вала кривошипно-шатунного механизма компрессора;

- износ, ослабление или сильный затяг подшипников;

- ослабление болтовых соединений;

- засорение всасывающего фильтра, масляной системы (насос, приемные сетки, маслопровод), водяного охлаждения блока и головки цилиндров компрессора;

– сужение живого сечения нагнетательной трубы вследствие образования нагара или падения клапана запорного вентиля.

При водяном охлаждении компрессора напор воды должен быть не ниже 0,1 МПа (1 кгс/см²), так как при слабом напоре парообразование от перегрева может прекратить выход воды из рубашки охлаждения. Для уменьшения образования накипи не допускается перегревание выходящей воды более 35...50 °С. Очистку накипи производят не реже 1 раза в три месяца (остановить компрессор; заполнить рубашку охлаждения смесью: одна часть соляной кислоты, три части воды и присадка в количестве 0,2 % к массе смеси; оставить смесь в рубашке на 8–9 часов; слить смесь и промыть проточной водой).

Сроки и виды осмотра и ремонта компрессора:

– осмотр – один раз в месяц (проверяют размер вредного пространства, правильность показаний и сроки испытания аппаратуры – манометра, регулятора давления, предохранительного клапана, минутную производительность компрессора, утечки);

– периодический ремонт – один раз в три месяца (производят очистку, промывку компрессора; притирку клапанов и гнезд, проверку цилиндров и поршней, картера, рубашки и масляной системы, промывку фильтра);

– годовой ремонт – ежегодно (полная разборка компрессора без демонстрации с фундамента, дефектовка деталей и их ремонт, сборка компрессора и испытание после ремонта – пробный пуск);

– капитальный ремонт – не реже одного раза в три года, но в зависимости от состояния.

Обслуживание воздушных резервуаров:

– шестимесячная промывка и очистка острым паром и водой (напорный воздухопровод между компрессором и резервуаром дополнительно промывают содовым раствором);

– наружный осмотр без остановки компрессора один раз в год техническим инспектором ;

– внутренний осмотр один раз в три года техническим инспектором;

– гидравлическое испытание один раз в шесть лет пробным давлением $P_{\text{проб}} = 1,5P_{\text{раб}}$ в течение 5 мин.

Уход за резервуарами и воздухопроводом в эксплуатации заключается в продувке перед пуском и после остановки компрессора, периодической продувке от влаги и примесей в течение суток: летом – 2–4 раза, зимой – не реже 8 раз; очистка воздухопроводов от грязи и масел один раз в год паром, горячей водой, содовым раствором. В зимний период отогревание производят только горячей водой. Утечки в воздухопроводе допускаются 0,025 МПа (0,25 кгс/см²) в течение 10 минут при рабочем давлении 0,6–0,7 МПа (6–7 кгс/см²).

Основное оборудование автоконтрольного пункта вагонного депо приведено в таблице 2.25.

Т а б л и ц а 2.25 – Основное оборудование контрольного пункта автотормозов

Наименование оборудования	Тип, марка	Примечание
Полуавтоматическая установка для наружной очистки тормозных приборов: а) камера проходного типа с конвейером б) насосная станция	ПКБ ЦВ –	276.01
Накопитель-рольганг	–	
Подъемник на поворотной балке	–	Пневматический
Вращающийся стеллаж-накопитель для тормозных приборов	ПКБ ЦВ	
Стол дополнительной очистки	-	
Верстак для разборки тормозных приборов	ПКБ ЦВ	
Кассеты для деталей приборов	–	Сетчатые
Моечная установка для промывания деталей и обдувки сжатым воздухом	–	
Пульт управления моечной установкой	–	
Конвейер	–	Ленточный
Верстак с технологической оснасткой для ремонта главной части воздухораспределителя	ПКБ ЦВ	T150
Верстак с технологической оснасткой для ремонта магистральной части воздухораспределителя	ПКБ ЦВ	У158-00 T255
Пресс для запрессовки втулок		Гидравлический
Машина для испытания пружин	ПКБ ЦВ	ПА334
Верстак с технологической оснасткой для ремонта авторежима	ПКБ ЦВ МПС	1365-01-00
Транспортер для перемещения тормозных приборов		Рольганг
Стенд для испытания авторежима	ПКБ ЦВ	T157
Пневматический стенд для ремонта и испытания воздухораспределителей	ПКБ ЦВ	У-158-00
Вертикально-доводочный станок однодисковый		
Горизонтально-доводочный станок	3803	
Универсальное приспособление для проверки, доводки и притирки золотников и их втулок	ПКБ ЦВ	
Верстак с технологической оснасткой для разборки и сборки авторегуляторов	T115-02 ПКБ ЦВ	T14501
Стенд для испытания авторегуляторов	ПКБ ЦВ	T144-00
Стенд для испытания регуляторов хода поршня тормозного цилиндра	ПКБ ЦВ	РП-9-01
Стенд разборки, ремонта и испытания поршневых узлов тормозных цилиндров	ПКБ ЦВ	T223-00
Приспособление для разборки концевых кранов, соединительных рукавов	ПКБ ЦВ	

Окончание таблицы 2.25

Наименование оборудования	Тип, марка	Примечание
Камера для продувки деталей после разборки	–	
Верстак с технологической оснасткой для ремонта арматуры	ПКБ ЦВ	
Стол проверки арматуры	–	
Станок для притирки пробковых кранов	ПКБ ЦВ	
Стол комплекточный соединительных рукавов	ПКБ ЦВ	T115-02
Стенд для испытания рукавов	ПКБ ЦВ	
Приспособление для испытания рукавов	ПКБ ЦВ	
Компрессор	ВП-20/8 200 В-10/8	

2.3.9 Расположение зданий, сооружений и технологического оборудования вагонного депо

К основному технологическому оборудованию грузового вагонного депо относятся: стенды ремонтные, сварочные и испытательные; моечные установки; металлорежущие станки; сварочные агрегаты, молоты, прессы, нагревательные печи и горны. Набор технологического оборудования в депо должен соответствовать нормативным каталогам с учетом возможности применения средств диагностики и контроля. Специализированный участок предназначен для ремонта и технического обслуживания оборудования, приспособлений, оснастки, зданий и сооружений, электросилового хозяйства, инженерных сетей вагонного депо.

При проектировании на участке предусматривают следующие **отделения**:

- ремонтно-механическое;
- ремонта электросилового оборудования;
- экспериментальное для изготовления приспособлений и механизмов по рационализаторским предложениям работников депо;
- ремонтно-хозяйственное;
- зарядки огнетушителей;
- эмульсионное и кладовую смазочных масел для оборудования;
- ремонта и подзарядки электрокар.

Трудоемкость хозяйственных работ, ремонта оборудования и инструмента принимается для грузовых вагонных депо в размере 12 % от общей затраты человеко-часов на ремонт вагонов. Процент участия в общих затратах человеко-часов по профессиям производственных рабочих следует принимать в размерах, указанных в таблице 2.26.

В отделении следует иметь необходимое оборудование, соответствующее перечню профессий; кроме того, гидравлический пресс давлением до 3 МПа для испытания труб и котлов; правильную плиту, электрогорн; точило-шлифовальный станок; механизированный ручной инструмент.

Т а б л и ц а 2.26 – У частие в ремонте по профессиям

Профессия	Процент участия	Профессия	Процент участия
Слесари по ремонту оборудования	41,5	Электрогазосварщики	2,5
Слесари по ремонту инструмента	6,5	Кузнецы	3,1
Слесари-электрики	11,5	Малыры	4,0
Токари	5,0	Столяры	8,5
Сверловщики	1,4	Подсобные (транспортные) рабочие и пр.	13,8
Строгальщики-фрезеровщики	2,2	И т о г о	100,0

Кроме основного здания с производственными участками и отделениями **на территории грузового вагонного депо располагаются:**

- компрессорная, трансформаторная;
- отделение подготовки вагонов к ремонту;
- отделение механизированной очистки и обмывки вагонов с очистными сооружениями;
- склад горюче-смазочных материалов и нефтепродуктов;
- лесопилка и склад лесоматериалов;
- котельная и склады топлива, металла и стройматериалов;
- основной склад запасных частей и материалов;
- склад баллонов (кислород, природный газ, углекислый газ);
- прачечная, химчистка;
- ремонт спецодежды и обуви;
- площадки металлолома и металлической стружки;
- колесо-тележечный парк технологического запаса колесных пар и тележек вагонов;
- механизированный участок текущего ремонта вагонов;
- гараж для автомашин, электропогрузчиков и электрокаров;
- административный корпус, столовая, гардеробные и душевые, медпункт, проходная; спортивные площадки, площадки отдыха и стоянки личного транспорта работников депо;
- противопожарные сооружения гражданской обороны.

Вспомогательные и обслуживающие устройства проектируют самостоятельно с учетом местных условий и задания на проектирование. Предусматривают открытые площадки или контейнеры для хранения металлолома и металлической стружки, площадь которых принимают не менее 6 м² на десять ремонтируемых вагонов в смену, а также контейнеры для производственных отходов и мусора. Площадь складских помещений определяют по расчету. Она должна составлять не менее 1,2 м² на десять ремонтируемых 4-осных вагонов. **Общая площадь вспомогательных помещений** (вентиляторные, узлы ввода, транс-

форматорные подстанции и пр.) не должна быть более 30 % производственной площади. Для укрупненного расчета площадей кладовых удельные показатели могут быть приняты в соответствии с таблицей 2.27.

Т а б л и ц а 2.27 – Удельные показатели площади помещений

Наименование кладовых	Единица измерения	Удельный показатель площади, м ²
Инструментально-раздаточная	На один производственный станок ремонтно-механического участка	0,7–1,0
Эмульсионная установка и кладовая смазочных масел	То же	0,10–0,25
Хранения приспособлений	"	0,50–0,90
Вспомогательных материалов (обтирочные и хозяйственные)	На единицу производственного оборудования	0,10
Инструментально-раздаточная для слесарно-сборочных участков депо	На одного слесаря	0,15–0,25

Расход пара для основных технологических процессов при давлении 0,3–0,4 МПа на один вагон деповского ремонта следует принимать: 2220 кг/ч – в период разогрева (время разогрева – 1 ч); 750 кг/ч – при рабочем режиме.

Расход сжатого воздуха отдельными потребителями депо для основных технологических процессов на единицу ремонта составляет: испытание тормозной системы на вагоне (при давлении 0,6 МПа) – 28,0, съёмка и постановка фрикционных аппаратов автосцепного устройства вагонов – 0,25 м³. Суточный расход для сверления пневматическими сверлильными машинами при 2-сменной работе – 45, пневматических гайковертов – 60, пневматических шлифовальных машинок – 60 м³ (при давлении 0,5–0,6 МПа). Расход природного газа при давлении 0,004–0,005 МПа на единицу оборудования: сварочный пост участка ремонта вагонов – 1,2, горн двухогневой газовой кузнечного отделения – 2,9, сварочный пост электросварочного отделения – 1,8 м³/ч. Для 8-осных вагонов расход газа увеличивается в 1,5 раза.

Удельный **расход электроэнергии**, приходящийся на один ремонтируемый вагон, при деповском ремонте приведен в таблице 2.28.

Т а б л и ц а 2.28 – Удельный расход электроэнергии

Тип вагона	Расход электроэнергии, кВт · ч
Крытый 4-осный	205
Платформа 4-осная	183
Полувагон, цистерна 4-осная	197
Полувагон, цистерна 8-осная	295

При проектировании депо для выполнения заданной ремонтной программы предусматривают комплекс основных производственных зданий и сооружений, вспомогательных и обслуживающих устройств, указываемых на схеме генерального плана проектируемого вагоноремонтного предприятия. Под **генеральным планом** следует понимать графическое изображение территории предприятия со всеми размещенными на ней сооружениями, зданиями и различными коммуникациями (рисунок 2.28). **Планировка площади** вагоноремонтного предприятия, расположение зданий, сооружений и транспортных путей должны обеспечивать наиболее благоприятные условия для производственного процесса и труда на предприятии, рациональное и экономное использование земельных участков и наибольшую эффективность капитальных вложений.

При расположении групп зданий и сооружений на территории депо необходимо соблюдать следующие требования:

- здания административного, хозяйственного и обслуживающего назначения располагают со стороны наибольших потоков людей, здания и сооружения с производствами повышенной опасности – с подветренной стороны к другим зданиям и сооружениям;

- здания вспомогательных производств – как правило, в зоне, соседней с зоной основного производства; деревообрабатывающие участки (отделения) должны быть удалены от зоны расположения зданий и сооружений с производствами повышенной пожарной опасности.

В генеральных планах должно быть предусмотрено:

- функциональное зонирование территории с учетом технологических связей, санитарно-гигиенических и противопожарных требований, грузооборота, видов транспорта;

- обеспечение рациональных производственных, транспортных и инженерных связей;

- создание путей для пешеходного сообщения, обеспечивающих безопасное и с наименьшими затратами времени движение трудящихся между местами работы;

- возможность расширения и реконструкции предприятия.

Сооружения должны располагаться параллельно разбивочным осям соседних зданий, сооружений и проездов, при этом разбивочные оси сооружений следует увязывать с унифицированной сеткой колонн, кратной 6 м. С учетом требований гражданской обороны принимаются каркасные железобетонные здания, выдерживающие нагрузку ударной волны ядерного взрыва $5,0-7,5 \text{ Н/см}^2$. Заполнение проемов – легкое, перекрытия зданий – облегченные с целью уменьшения возможных разрушений.

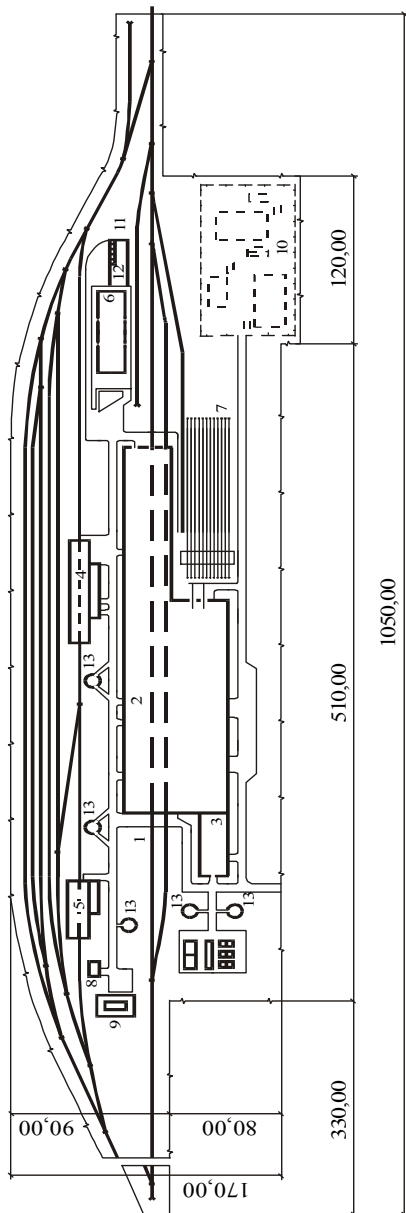


Рисунок 2.28 – Схема генерального плана депо.

1 – производственный корпус; 2 – вагоноремонтный участок; 3 – служебно-бытовой корпус; 4 – участок обмытки и очистки полувагонов; 5 – участок уравнительного ремонта полувагонов; 6 – склад запасных частей и материалов; 7 – парк колесных пар; 8 – автоматическая насосная станция противопожарного водоснабжения; 9 – резервуар для воды; 10 – очистные сооружения; 11 – площадка для мусора в контейнерах; 12 – площадка для металла; 13 – площадка для отходов

Расстояние между зданиями и сооружениями принимают наименьшим в соответствии с технологическими, транспортными и другими условиями, но не менее устанавливаемых противопожарными и санитарно-гигиеническими требованиями. Наименьшее расстояние между зданиями и сооружениями применяют в зависимости от **степени их огнестойкости**. Строительные материалы и конструкции по возгораемости разделяют на три группы: негораемые, трудногораемые и сгораемые. Предел огнестойкости конструкции определяется временем, выраженным в часах. В таблице 2.29 приведены группы возгораемости и минимальные пределы огнестойкости основных строительных конструкций в зависимости от требуемой степени огнестойкости зданий и сооружений. К *негораемым* относятся все естественные и искусственные неорганические материалы, применяемые в строительстве, а также гипсовые или гипсоволокнистые плиты при содержании органической массы до 8 % по весу, минераловатные плиты на синтетической, крахмальной или битумной связке при содержании ее до 6 % по весу, к *трудногораемым* – материалы, состоящие из негораемых и сгораемых составляющих, к *сгораемым* – все органические материалы, не отвечающие требованиям, предъявляемым к негораемым или трудногораемым материалам.

Таблица 2.29 – Степень огнестойкости строительных конструкций

Степень огнестойкости	Несущие стены, стены лестничных клеток, колонны	Наружные стены из подвесных панелей и наружные факховые стены	Плиты, настилы и другие несущие конструкции междуэтажных и чердачных перекрытий	Плиты, настилы и другие несущие конструкции покрытий	Внутренние несущие стены, перегородки	Противопожарные стены (брандмауэры)
I	Негораемые					
	2,5	0,5	1,0	0,5	0,5	2,5
II	Негораемые					
	2,0	0,25	0,75	0,25	0,25	2,5
	Трудногораемые					
	–	0,5	–	–	0,25	–
III	Негораемые		Трудногораемые	Сгораемые	Трудногораемые	Негораемые
	2,0	0,25	0,75	–	0,25	2,5
	Трудногораемые					
	–	0,5	–	–	–	–
IV	Трудногораемые			Сгораемые	Трудногораемые	Негораемые
	0,25	0,25	0,25	–	0,25	2,5
V	Сгораемые			Негораемые		
	–	–	–	–	–	2,5

Наименьшим расстоянием между зданиями и сооружениями считается расстояние в свету между наружными стенами и конструкциями (при наличии выступающих конструкций зданий и сооружений более чем на 1 м и выполненных из сгораемых материалов наименьшим расстоянием считается расстояние между этими конструкциями). Для определения минимального расстояния необходимо знать степень огнестойкости зданий и сооружений, а также категорию производства.

Здания и сооружения следует располагать относительно сторон света и преобладающего направления ветров с учетом обеспечения наиболее благоприятного естественного освещения, проветривания площадки предприятия, предотвращения снежных или песчаных заносов. Продольные оси зданий и световых фонарей следует ориентировать в пределах от 45 до 110° к меридиану.

Разбивочные оси противостоящих зданий, располагаемых на площадке предприятия, как правило, должны совпадать. К зданиям и сооружениям по всей их длине должен быть обеспечен подъезд пожарных автомобилей с двух сторон при ширине здания более 18 м. Необходимо максимально использовать **принцип блокировки** производственных помещений, т. е. объединять в одном здании несколько участков и отделений. Блокировка производственных помещений депо позволяет сократить объем строительных работ, уменьшить протяженность коммуникаций и сократить транспортные потоки в процессе производства. Трансформаторные подстанции и распределительные пункты 6–10 кВ, вентиляционные установки, насосные по перекачке негорючих жидкостей и газов, промежуточные и расходные склады не следует проектировать отдельно стоящими, их рекомендуется размещать в производственных зданиях.

Для наибольшей работающей смены от 600 человек и менее предусматривают **убежище** III типа, рассчитанное на нагрузку ударной волны до 20 Н/см². Для организации управления производством при угрожающем положении предусматривают **пункт управления** в одном из отсеков убежища из расчета 0,5 м² и 1,5 м³ на человека.

Необходимо также предусмотреть сооружение автомобильных и железных дорог и проездов на территории депо, тротуаров и зеленых насаждений. Склады легковоспламеняющихся и горючих нефтепродуктов, сгораемых материалов, а также ядовитых веществ не следует располагать по отношению к производственным зданиям и сооружениям с наветренной стороны ветров преобладающего направления. Установки с открытым источником огня или выбросом искр нельзя размещать с наветренной стороны по отношению к открытым складам легковоспламеняющихся или горючих нефтепродуктов и сгораемых материалов. В таблице 2.30 приведены допустимые расстояния между зданиями.

Таблица 2.30 – Допустимые расстояния между зданиями

Степень огнестойкости зданий и сооружений	Расстояние между зданиями и сооружениями, м, при степени огнестойкости зданий и сооружений		
	I и II	III	IV и V
I и II	Не нормируется – для зданий и сооружений с производствами категорий Г и Д; 9 – для зданий и сооружений с производствами категорий А, Б и В	9	12
III	9	12	15
IV и V	12	15	18

Условные обозначения, применяемые на схемах генеральных планов депо, приведены в таблице 2.31.

Таблица 2.31 – Условные обозначения на схемах генпланов депо

Наименование	Условные обозначения
Здание наземное	
Здание наземное со стенами, не достигающими до уровня земли, навес	
Здание подземное	
Здание (сооружение), подлежащее сносу	
Предусматриваемое расширение здания, сооружения	
Площадка производственная, складская	
Площадка производственная, с краном (козловым)	
Эстакада крановая	
Эстакада для прокладки инженерных сетей или для технологических нужд	
Инженерная сеть при одиночной прокладке в траншее	

Окончание таблицы 2.31

Наименование	Условные обозначения
Инженерная сеть при групповой прокладке в траншее	
Инженерная сеть наземная на низких опорах: при одиночной прокладке; при групповой	
Ограждение территории предприятия	
Деревья рядовой и групповой посадки: лиственные, хвойные	
Кустарники рядовой и групповой посадки	
Газоны Цветники	
Автомобильная дорога	
Дорожные покрытия: Щ – щебеночное, Ц – цементно-бетонное, А – асфальтовое, Б – мощеное булыжником	
Путь железнодорожный: нормальной колеи узкой колеи	
Направление движения и номер железнодорожного пути	
Путь подвесной рельсовой дороги	
Стрелочный перевод одиночный	
Переезд железнодорожный с настилом	
Конец рельсового пути: без упора с упором с упором и земляной призмой	

При **размещении инженерных сетей** применяют совмещенную прокладку сетей различного назначения в общих коллекторах, траншеях, каналах или на эстакадах. *Прокладка трубопроводов внешней сети для горючих газов и легковоспламеняющихся и горючих жидкостей под зданиями и сооружениями не допускается.* С учетом требований гражданской обороны инженерные сети (электро-, газо-, паро-, водоснабжения и пр.) должны предусматриваться заглубленными. Сток промышленных вод должен осуществляться в действующую канализационную систему с учетом необходимой предварительной очистки согласно требованиям промышленной санитарии.

Вагоноремонтные предприятия с размером площадок более 5 га должны иметь не менее двух въездов. Ширина автомобильных въездов должна составлять не менее 4,5 м, а ширина ворот для железнодорожных въездов – не менее 4,9 м. Расстояние от проходных пунктов до входов в бытовые помещения основных участков не должно превышать 800 м. Примыкание вагонного депо к станционным путям делают двусторонним.

Показателем использования производственной площадки предприятия является **плотность застройки**, которая определяется в процентах отношением площади застройки к площади предприятия в ограде. В площадь застройки *включаются* площади, занятые зданиями и сооружениями всех видов, в т. ч. навесы, открытые технологические, санитарно-технические, энергетические и другие установки, эстакады, галереи, площадки, погрузочно-разгрузочных устройств, подземные сооружения (резервуары, погреба, убежища, туннели, проходные каналы инженерных сооружений, над которыми не могут быть размещены здания и сооружения), а также открытые стоянки автомобилей, машин, механизмов предприятия и открытые склады различного назначения при условии, что размеры и оборудование стоянок и складов принимают по нормам технологического проектирования предприятий. В площадь застройки *не включаются* площади, занятые: отметками вокруг зданий и сооружений; тротуарами, автомобильными и железными дорогами; временными зданиями и сооружениями; открытыми спортивными площадками, площадками для отдыха трудящихся, зелеными насаждениями; открытыми стоянками транспортных средств, принадлежащих работникам предприятия. Минимальную площадь застройки допускается уменьшать, но не более чем на 0,1 установленной нормы. Плотность застройки вагоноремонтного предприятия, как правило, должна быть не менее 0,4–0,5.

Взаимное расположение зданий и сооружений депо должно обеспечивать кратчайшие прямолинейные пути для ремонтируемых вагонов, запасных частей и материалов без обратных и встречных движений. Участки, отделения, связанные с технологическим процессом обработки и ремонта вагонных деталей, размещают рядом друг с другом. Помещения, в которых предусматривается выполнение горячих работ, объединяют в одну общую

группу с отделением их от остальных устройств противопожарными преградами. К противопожарным преградам относятся несгораемые перекрытия и противопожарные стены (брандмауэры). Тележечно-колесный и деревообрабатывающий участки размещают с торцовых сторон здания для удобства подачи тележек, колесных пар и лесоматериалов.

Для вспомогательных зданий и встроек (вставок) **высота этажей** должна быть 3,3 м. При площади до 300 м² допускается принимать высоту этажа 3 м. Допускается принимать высоту этажа 3,6 или 4,2 м, если не менее 60 % площади предназначено для размещения залов столовых, собраний и совещаний площадью более 300 м² или помещений, увеличение высоты которых обусловлено габаритами размещаемого оборудования. Высота от пола до низа выступающих конструкций перекрытий (до низа оборудования и коммуникаций, размещаемых под перекрытиями) должна быть не менее 2,2 м. Высоту вспомогательных помещений, размещаемых непосредственно в производственных зданиях, в том числе и на антресолях, следует принимать не менее 2,4 м. Для помещений, располагаемых на антресолях, допускается предусматривать открытые стальные лестницы шириной не менее 0,7 м с уклоном не более 1 : 1 и ограждением высотой не менее 0,8 м. Уровень полов первого этажа зданий должен быть выше планировочной отметки прилегающих к зданиям участков не менее чем на 15 см. Входы в здания предусматривают через тамбуры. Глубину тамбура следует принимать не менее 1,2, а ширину – 1,0–1,4 м.

Количество душевых сеток следует принимать по количеству работающих в наиболее многочисленной смене, исходя из расчетного количества человек на одну душевую сетку: мужчин – 15, женщин – 12. В одной душевой не должно быть более 30 душевых сеток. Открытые душевые кабины проектируют размером в плане 0,9 × 0,9, закрытые – 1,8 × 0,9, а места для переодевания – 0,6 × 0,9 м. Ширина прохода между рядом кабин и стеной или перегородкой должна быть 1,0–1,5 м. С учетом требований гражданской обороны следует предусматривать использование комплекса гардеробных и душевых для санитарной обработки личного состава депо, находящегося на зараженной территории.

2.4 Рациональные варианты развития грузового вагонного депо

Основной задачей железнодорожного транспорта является полное и своевременное удовлетворение потребностей в перевозках, ускорение доставки грузов и передвижения пассажиров. Парк грузовых вагонов, эффективность эксплуатации которого во многом определяется своевременным и качественным ремонтом, призван сыграть решающую роль в выполнении

поставленных задач. Рост грузового парка вызывает необходимость планомерного усиления вагоноремонтной базы. Развитие деповской вагоноремонтной базы происходит в условиях выделения ограниченных для этой цели капитальных вложений. Техническое перевооружение линейных предприятий, применение современной технологии ремонта, выбор рациональных вариантов реконструкции существующих и строительства новых депо позволит устранить разрыв между потребностью в ремонте и мощностью базы при дефиците капитальных вложений.

2.4.1 Требования, предъявляемые к реконструируемым депо, и определение их основных параметров

Для коренного улучшения строительства и повышения его эффективности капитальные вложения следует направлять, в первую очередь, на реконструкцию и техническое перевооружение предприятий. В вагонном хозяйстве это означает, что особое внимание необходимо уделять вопросам повышения эффективности функционирования существующих депо, за счет реконструкции которых, в основном, должна быть удовлетворена потребность в ремонте вагонов. Отсутствие единой методики решения данного вопроса зачастую не позволяет при внедрении новой технологии и перестройках депо достичь желаемых результатов. Так, например, некоторые линейные ремонтные предприятия, внедряя передовую технологию ремонта вагонов депо Московка Западно-Сибирской железной дороги, искусственно «затупиковали» свои сборочные участки, что не замедлило сказаться на их работе. Это обстоятельство объясняется тем, что при реконструкции депо не учитывались: стесненность застроенной территории, взаимное расположение основных ремонтных участков, индивидуальность путевого развития и ряд других вопросов.

Максимальный эффект от реконструкции депо может быть достигнут при условии комплексного учета основных факторов. Как следствие, возникла необходимость разработки методики выбора рационального варианта реконструкции существующих ремонтных предприятий. Любое расширение вагонного депо всегда связано с реконструкцией его главного корпуса, в состав которого входят все производственные участки и отделения. При этом могут возникнуть варианты достройки главных корпусов депо, и без технико-экономического сравнения нельзя определить, какой из принятых вариантов лучше. Поэтому при выборе рационального варианта реконструкции действующего предприятия необходимо:

– установить критерий оптимальности реконструкции существующих и строительства новых главных корпусов депо;

- исследовать влияние методов ремонта вагонов на выбор варианта реконструкции депо и его основные параметры;
- разработать конкретные варианты реконструкции существующих вагонных депо.

Под определением основных параметров вагонного депо следует понимать расчет длины, ширины, высоты всех его участков и отделений, а для вагоносорборочного участка (ВСУ), кроме того, и числа ремонтных путей. За последние годы эти размеры разительно изменились из-за унифицированного строительного шага колонн, пролетов ферм и новой компоновки ремонтно-комплектовочных отделений (РКО). Главные же корпуса вагонных депо сохранили присущую им специфику расположения РКО в боковых одноэтажных пристройках низкой высоты. В современных условиях проектирования делаются попытки расположить указанные отделения в многоярусных пролетах с организацией транспортировки узлов и деталей грузовыми лифтами. Такая схема является более прогрессивной, так как позволяет увеличить плотность застройки территории и приблизить вагонное депо по архитектурным формам к промышленным зданиям. Указанные варианты компоновок главных корпусов депо могут с успехом применяться при реконструкции линейных ремонтных предприятий, что потребует разработки новой методики определения их основных параметров.

Отправными моментами для определения всех размеров участков и отделений являются выбор схемы расширения главного корпуса депо и новая программа ремонта вагонов, согласно которой определяется необходимое число позиций на поточно-конвейерных линиях, а также площадь всех помещений. Число ремонтных путей при расширении депо обычно не рассчитывается, а принимается в зависимости от наличия свободных площадей на выделенной территории, количества железнодорожных путей, которое можно завести в проектируемое здание, и числа ремонтных линий в существующем депо. По найденному числу путей подбирается пролет ВСУ:

$$B^{сб} = (n - 1) b_1 + 2b_2, \quad (2.29)$$

где n – число ремонтных путей на ВСУ; b_1 – расстояние между осями соседних ремонтных путей, не менее 7 м (принимается с учетом параллельной работы на смежных ремонтных путях передвижных правильных машин и движения электрокаров); b_2 – расстояние от продольных стен и колонн до осей крайних путей, равное 5 м (принимается с учетом одностороннего движения электрокаров вдоль поточной линии).

Расстояние между опорами ферм должно быть кратным 6. Обычно при наличии двух ремонтных путей ширина участка принимается равной 18 м, при трех – 24 м, при четырех – двум пролетам по 18 м. Высота ВСУ определяется в зависимости от габаритов наибольшего транспортируемого изде-

лия, высоты ремонтируемых вагонов, конструктивных размеров мостовых кранов и их грузоподъемности:

$$H^{сб} = h_{в} + h_1 + h_{тр} + h_p + h_{мк} + h_2, \quad (2.30)$$

где $h_{в}$ – высота ремонтируемого вагона; h_1 – расстояние между вагоном и транспортируемым грузом, равное 0,5 м; $h_{тр}$ – высота наибольшего транспортируемого груза; h_p – наименьшее расстояние от крана до груза, определяемое как проекция расчалок на вертикальную ось при угле между ними не более 60° ; $h_{мк}$ – расстояние от крюка до верхней точки мостового крана, определяемое по характеристике крана; h_2 – минимальный зазор между краном и затяжкой фермы (определяется по характеристике крана).

Высота пролета должна быть кратна 0,6 и не менее 8,4 м для реконструируемых депо. Минимальная высота 8,4 м определена согласно СНиП для зданий с мостовыми кранами, исходя из архитектурных пропорций промышленных зданий.

Третий параметр – длину ВСУ при поточном методе ремонта в общем виде можно определить по формуле

$$L^{сб} = l_{мз} + l_{сп} + n_{вт} l_{вт} + \Phi_{л}^{сб} l_{в} + (\Phi_{л}^{сб} - n_{вт}) l_1, \quad (2.31)$$

где $l_{мз}$ – "мертвая зона" мостового крана, равная сумме половины его ширины и длины торцевых упоров; $l_{сп}$ – ширина транспортного проезда внутри участка, равная 3 м. Данный проезд организуется на ВСУ при числе ремонтных позиций более четырех; $n_{вт}$ – число мест выкатки и подкатки тележек; $l_{вт}$ – расстояние между вагонами на позиции выкатки тележек; $\Phi_{л}^{сб}$ – фронт работы поточной линии ВСУ; $l_{в}$ – расчетная длина вагона; l_1 – расстояние между вагонами, равное в расширяемых депо 2, а в реконструируемых – 1,6 м.

Найденная длина должна быть кратной 6 или 12. Проведя ряд преобразований, получим

$$L^{сб} = \frac{N l_{в}^{сб}}{n F_{сб}} (l_{в} + l_1) + n_{вт} (l_{вт} - l_1) + l_{мз} + l_{сп}. \quad (2.32)$$

Из приведенного равенства следует, что длина ВСУ имеет линейную зависимость от ремонтной программы депо с разрывом функции при значениях $\Phi_{л}^{сб} = 4$ и $n_{вт} = 2$.

Отделения для окраски вагонов в сквозных депо с целью устранения маневров располагаются, как правило, на продолжении ВСУ, и поэтому ширина их принимается та же. Высота малярного отделения зависит от габаритов

окрасочно-сушильных машин, типа приточной вентиляции и равна не менее 7,2 м. Иногда с целью дальнейшего развития депо малярное отделение сооружается высотой, равной высоте ВСУ, с колоннами для установки мостовых кранов грузоподъемностью 20 т. Длина малярного отделения

$$L^M = 2l_2 + \Phi_{\text{л}}^M l_{\text{в}} + (\Phi_{\text{л}}^M - 1) l_1 + l_{\text{тш}}, \quad (2.33)$$

где l_2 – расстояние от крайних вагонов до торцевых стен, равное длине окрасочно-сушильной машины и проходу между ней и стеной; $\Phi_{\text{л}}^M$ – фронт работы линий малярного отделения; $l_{\text{тш}}$ – длина тамбур-шлюза между ВСУ и малярным отделением, принимаемая согласно нормативам не менее 4 м.

Сбоку от ВСУ устраиваются колесно-тележечный участок и ремонтно-комплектовочные отделения. Традиционно РКО располагались в одноэтажных пристройках шириной 12 и высотой 4,8 м. Площадь указанных отделений определялась расчетом, но зачастую длины боковых стен сборочного участка не хватало для размещения этих отделений. В этих случаях РКО выступали в обе стороны от основных участков, что вызывало значительное удлинение грузопотоков, инженерных коммуникаций и увеличение эксплуатационных расходов на отопление зданий.

В настоящее время рациональным следует считать многоярусное расположение РКО с устройством на первом этаже колесно-тележечного участка и кузнечно-прессового отделения.

Многоэтажная пристройка может быть пролетами 1 x 12; 2 x 9 и 2 x 12 м как на нижнем, так и на верхних этажах с устройством подвесных кранбалок грузоподъемностью до 10 т. Высоту первого этажа, на котором могут располагаться перечисленные помещения, в общем виде можно определить по формуле

$$H_1 = h_{\text{об}} + h_1 + h_{\text{тр}} + h_{\text{п}} + h_{\text{пк}} + h_2, \quad (2.34)$$

где $h_{\text{об}}$ – наибольшая высота оборудования, над которым возможна транспортировка груза; h_1 – минимально безопасное расстояние между оборудованием и транспортируемым грузом, равное 0,5 м; $h_{\text{пк}}$ – расстояние от крюка до верхней точки крана, определяемое по характеристике крана.

Остальные величины пояснялись раньше. Высота первого этажа соответствует нормам высоты, оговоренной в типовой серии на многоярусные пролеты. Высоту второго и последующих этажей следует также принимать по формуле (2.34).

Для транспортировки узлов и деталей по этажам устраиваются лифты (не менее двух) и транспортные тележки, способные зайти с грузом в кабину лифта. Лифты, склады, кладовые, венткамеры, туалеты и другие помещения, не требующие света, располагаются в темной зоне пролета с выхо-

дом всех перечисленных помещений, а также РКО в транспортный коридор шириной не менее 3 м. Стены и перегородки между отделениями с категориями производств «Г» и «Д» не делаются. Допускается не отделять перегородками и ограждающими стенами отделения и участки с категориями производств «В» от отделений с категориями «Г» и «Д» при выполнении требований СНиП. Станки, стенды и другое оборудование (кроме моечных машин) массой до 10 т на всех этажах можно устанавливать непосредственно на бетонный пол толщиной не менее 150 мм. Многоэтажное расположение участков и отделений вагонного депо позволяет не только устранить все недостатки, присущие одноэтажным мастерским, но и получить следующие преимущества:

- уменьшить затраты на строительство достраиваемой части депо;
- увеличить плотность застройки территории и максимально использовать площадь;
- снизить эксплуатационные затраты на отопление помещений;
- уменьшить протяженность инженерных коммуникаций;
- улучшить архитектуру ремонтного предприятия.

Если колесно-тележечный участок при расширении депо устраивается в одноэтажных зданиях с пролетами 18 и 24 м и располагается параллельно ВСУ, то высоту его согласно нормативам вместо 8,4 можно принять 10,8 м, что позволит удешевить затраты на строительство при незначительном увеличении эксплуатационных затрат.

При расширении существующих депо возможно несколько вариантов достройки ВСУ (шириной 18; 24 и 30 м). Поэтому вначале необходимо провести технико-экономическое обоснование, позволяющее однозначно выбрать оптимальный вариант реконструкции.

В качестве критерия оптимальности решения данной задачи применяются приведенные расходы на деповской ремонт вагонов $E_{пр}$. С учетом значений различных факторов для главного корпуса депо

$$\begin{aligned}
 E_{пр} = & (C_{об} + C_{зд})E_{н} + \mathcal{E}_c H_3 + \mathcal{E}_{oc}^{BH} H_3 + \mathcal{E}_{oc}^H H_3 + Q_o H_{п} + Q_v H_{п} + \\
 & + Q_{пр} H_{н} + Q_{г} H_{п} + B_{x-п} H_v + B_{пр} H_v + \Delta N e_m + a \Delta N + b + C_{зд} \eta_1 + \\
 & + C_{зд} \eta_2 + C_{об} \Theta_1 + C_{об} \Theta_2 + C_c .
 \end{aligned} \quad (2.35)$$

Так как сравниваемые между собой варианты строительства выполняются для заданной величины прироста годовой программы ремонта вагонов ΔN , то это позволяет исключить из критерия оптимальности часть затрат, зависящих только от ΔN и остающихся постоянными для всех рассматриваемых вариантов. Проведя ряд преобразований и обозначив

$$E_{\text{пр}} - \left[\begin{aligned} & E_{\text{п}} C_{\text{об}} + (\mathcal{E}_{\text{с}} + \mathcal{E}_{\text{ос}}^{\text{H}}) H_{\text{э}} + (Q_{\text{пр}} + Q_{\text{г}}) H_{\text{п}} + (Q_{\text{пр}} + Q_{\text{г}}) H_{\text{п}} + \\ & + (B_{\text{х-п}} + B_{\text{пр}}) H_{\text{в}} + \Delta N e_m + \alpha \Delta N e + b + C_{\text{об}} (\Theta_1 + \Theta_2) + C_2 \end{aligned} \right] = E_{\text{пр}}^{\text{ГК}}, \quad (2.36)$$

получим критерий оптимальности следующего вида:

$$\begin{aligned} E_{\text{пр}}^{\text{ГК}} = & \sum_{i=1}^n C_{\text{зд}}^i (\eta_1 + \eta_2 + E_{\text{н}}) + 51,187 \sum_{i=1}^n B_i L_i + \\ & + \sum_{i=1}^n (H_i B_i L_i) n_0 10^{-6} (199,21 - 16,61 t_{\text{ср}}), \end{aligned} \quad (2.37)$$

где $C_{\text{зд}}^i$ – общая стоимость строительно-монтажных работ по каждому пролету главного корпуса депо; B_i, H_i, L_i – параметры (ширина, высота и длина) каждого пролета главного корпуса депо.

Для нахождения величины $C_{\text{зд}}^i$ был проведен анализ смет реконструкции существующих и строительства новых главных корпусов депо. Установлено, что общая стоимость строительно-монтажных работ для каждого типа зданий зависит от длины здания, годовой программы ремонта и некоторой постоянной величины:

$$C_{\text{зд}}^i = C_y^i L_i + C_{\text{зд}}^i (\Delta N) + a_0^i, \quad (2.38)$$

где $C_y^i L_i, C_{\text{зд}}^i (\Delta N), a_0^i$ – соответственно составные части строительных затрат.

Стоимость $C_{\text{зд}}^i (\Delta N)$ остается постоянной для всех сравниваемых вариантов и в критерий оптимальности включаться не должна. В общем виде формула для определения приведенных расходов, связанных с реконструкцией (строительством) главного корпуса вагонного депо, будет выглядеть так:

$$\begin{aligned} E_{\text{пр}}^{\text{ГК}} = & \sum_{i=1}^n (a_0^i + C_y^i L_i) (\eta_1 + \eta_2 + E_{\text{н}}) + 51,187 B_i L_i + \\ & + H_i B_i L_i n_0 10^{-6} (199,21 - 16,61 t_{\text{ср}}). \end{aligned} \quad (2.39)$$

При определении оптимального варианта строительства по полученному критерию необходимо вычислять величины параметров для каждого пролета главного корпуса депо или всей достраиваемой части при одинаковых значениях L_i .

2.4.2 Влияние методов ремонта вагонов на реконструкцию депо и его основные параметры

При техническом перевооружении и реконструкции депо применяют стационарный и поточный методы ремонта грузовых вагонов. Использование их зависит от типа вагонов, на ремонте которых специализируется данное депо, застройки прилегающей территории и существующего путевого развития предприятия. Исследования показали, что *при ремонте цистерн и платформ в реконструируемых депо целесообразно использовать стационарный метод*, так как объем кузовных работ у этих типов вагонов невелик. Для депо, выполняющих *ремонт полувагонов и крытых вагонов, необходим поточный метод ремонта* и установка на каждой позиции потока специализированной оснастки.

Организация стационарного метода ремонта вагонов требует значительной переделки планировки существующих предприятий. Так, например, окраску подвижного состава по требованиям техники безопасности необходимо выполнять в малярном отделении (участке), а ремонт тележек – в отдельном помещении.

При **реконструкции** действующих депо и применении в них **поточного метода ремонта** грузовых вагонов кроме вышеперечисленных переделов главного корпуса *необходимо дополнительно выполнить*:

- пооперационное размещение отделений, ремонтирующих узлы и детали вагонов, для приближения их (отделений) к специализированным позициям и уменьшения грузопотоков;

- укладку тракционных путей для вагонов перед постановкой на поток и ожидания отправления их на станцию. Если путевое развитие действующего предприятия одностороннее и нет возможности организовать вторую горловину, целесообразно вместо сквозного применять «П»-образный поток с передачей вагонов на обратную ветвь потока трансбордерной тележкой или мостовым краном.

Следовательно, можно заключить, что организация разных методов ремонта вагонов в существующих депо отличается объемом строительных работ и величиной капитальных вложений. Для уменьшения трудоемкости определения строительно-монтажных работ целесообразно знать зависимость их от наиболее существенной части – общестроительных работ $C_{\text{общ}}$. Величина $C_{\text{общ}}$ функционально зависит от длины здания, что позволяет достаточно полно учесть индивидуальные условия строительства депо. Эта зависимость определена дисперсным однофакторным анализом связи между указанными стоимостями.

2.4.3 Методика выбора рациональных вариантов реконструкции и технического перевооружения вагонных депо

После предварительного определения места усиления вагоноремонтной базы и выполнения топогеодезических исследований площадки существующего ремонтного предприятия прорабатываются возможные варианты расширения вагонных депо. Каждый из вариантов оценивается по критерию оптимальности, а затем выбирается наилучший – с минимальными приведенными расходами. При этом учитываются натуральные показатели: сложность строительства, возможность выполнения ремонта вагонов во время реконструкции, резервы мощности, возможность дальнейшего развития депо и т. д.

Анализ показал, что 78 % депо имеют длину ВСУ 60 м и менее, 41 % имеют в составе сборочного участка тележечный участок, 36 % депо не полностью используют производственные площади ВСУ.

Несмотря на большое количество типоразмеров планировок существующих *депо*, можно указать *наиболее рациональные пути их реконструкции и расширения*:

- полное использование основных площадей ВСУ участка и РКО, организация поточно-конвейерных линий и техническое перевооружение участков депо;
- вынос тележечного участка из ВСУ в отдельное помещение, приспособление старого тележечного участка в малярный или ВСУ, подъем перекрытия тележечного участка (при необходимости);
- достройка новых малярных отделений;
- достройка новых или удлинение старых ВСУ.

Во всех перечисленных вариантах выполняют также мероприятия по замене стационарного метода ремонта вагонов на поточный, достройке новых и планировке старых мастерских. В каждом конкретном случае могут быть использованы разные варианты реконструкции депо или их комбинации.

Согласно предлагаемой методике *реконструкцию вагонных депо* без значительного увеличения производственных площадей необходимо выполнять в такой последовательности:

- полностью задействовать основные производственные площади ВСУ путем организации поточных линий и выноса тележечного участка в отдельное здание;
- добиться увеличения съема вагонов с одной ремонтной позиции путем применения специализированной оснастки на поточных линиях;
- вынести малярные позиции из ВСУ и пристроить к нему новое малярное отделение.

Если перечисленные мероприятия не позволяют достигнуть желаемого эффекта, то следует выполнить достройку ВСУ на продолжении ремонтных путей либо в стороне от них. Когда территория не позволяет наращивать вагоносборочный участок по длине, сбоку его целесообразно достроить тележечный участок, а освободившуюся площадь ВСУ использовать для ремонта вагонов.

Иногда бывает так, что для колесно-тележечного участка используют бывший ВСУ с пристройкой к нему нового сборочного участка необходимой мощности. Такие случаи в практике встречаются довольно редко. Они возникают тогда, когда

старый ВСУ требует для установки мостовых кранов устройства крановой эстакады и подъема перекрытия.

Вынос малярных позиций из ВСУ необходим не только по технологическим соображениям, но и диктуется санитарными нормами, которые запрещают окраску вагонов на общем потоке вне укрытий и камер. Организация малярных отделений позволит одновременно с усилением мощности ВСУ применить для окраски и сушки вагонов самоходные установки, что сократит трудоемкость указанных работ.

Вариант реконструкции вагонных депо, связанный с расширением ВСУ путем достройки новых ремонтных площадей, требует больших капитальных вложений, так как обычно необходимо развитие инженерных сетей, строительство бытовых корпусов, центральных распределительных пунктов, котельных, канализационных насосных станций и других сооружений вагонного хозяйства, потребность в которых обуславливается местными факторами. Например, строительство новой части главного корпуса вагонного депо является наиболее эффективным, так как позволяет комплексно усилить мощность всех отделений и участков. **Новые ВСУ можно располагать по отношению к существующим** по следующим вариантам: 1) в торце; 2) сбоку, с непосредственным примыканием к старому участку; 3) в стороне; 4) на месте старого участка после его сноса.

Первый вариант пристройки – самый распространенный, так как его можно осуществить в 82 % вагонных депо сети. Этот способ является, как правило, наиболее экономичным, ибо он не требует укладки новых путей, строительной площадки, переустройства инженерных сетей, обеспечивает максимальный коэффициент застройки территории и ее компактность.

Второй вариант расширения целесообразно осуществлять в тех случаях, когда невозможно либо неэкономично выполнить первый по следующим причинам: а) нет прямых участков перед существующими ВСУ; б) мешает застройка территории; в) старый участок непригоден для ремонта вагонов из-за отсутствия крана, низкой высоты или аварийного состояния; г) мощность старого участка при реконструкции увеличивается незначительно, но в то же время есть возможность расположить новое путевое развитие и сборочный участок рядом с существующим.

Третий вариант расширения применяется крайне редко и в тех случаях, когда на путях отцепочного ремонта можно расположить новый ВСУ с мастерскими без значительной переделки путевого развития.

Четвертый вариант выполняется тогда, когда нецелесообразно переустройство старого ВСУ и нет площадей для постройки нового участка в стороне. При расширении главных корпусов депо по первому способу иногда необходимо временно сокращать ремонт вагонов, а по четвертому – полностью останавливать его либо выполнять под открытым небом.

В процессе анализа установлено, что 88,4 % вагонных депо можно реконструировать одновременно по нескольким вариантам.

Таким образом, самой экономичной по удельным расходам капитальных вложений на 1 вагон является реконструкция, выполняемая одновременно по четырем вариантам. Менее экономичной, но более целесообразной, считается реконструкция, выполняемая одновременно по трем вариантам.

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ В ПЛАНИРОВАНИИ ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА

В настоящее время железнодорожный транспорт, обеспечивая перевозки грузов и пассажиров, работает в сложных экономических условиях. Поэтому очень остро стоит вопрос о поиске оптимальных решений в различных отраслях его деятельности. Без широкого и корректного применения современных экономико-математических методов решить стоящие перед транспортом задачи невозможно.

Сегодня, по сравнению с предшествующими годами, для железнодорожного транспорта еще в большей степени характерна неопределенность входящих параметров, что предопределяет переход от детерминированных к вероятностным методам расчета.

В пособии изложены подходы к разработке вероятностных моделей для расчета основных показателей вагонных депо, которые могут быть применены и для решения подобных задач по другим подотраслям железнодорожного транспорта.

Не нашли еще достаточно широкого применения при решении различных вопросов вагонного хозяйства и методы математического программирования. Для железнодорожного транспорта в целом и для вагонного хозяйства в частности весьма характерными являются задачи выбора рациональных путей передвижения вагонов, а это – классическая транспортная задача.

Динамическое программирование широко используется в различных областях промышленности, чего нельзя однозначно сказать о транспорте. В пособии даются основы теории динамического программирования, а на конкретном примере вагонного хозяйства показана эффективность его применения.

Не представляется сегодня возможным принимать обоснованные решения, особенно на перспективу, без разработки крайне-, средне- и долгосрочных прогнозов. Ниже излагаются основополагающие подходы как к разработке прикладных моделей, так и к решению сопутствующих им вопросов по периоду упреждения прогноза, длине ретроспективного ряда и др. Рассмотрены теоретические вопросы, а также приведены примеры решения практические задач, подтверждающие эффективность применения того или иного метода.

3.1 Транспортная задача линейного программирования по рациональной загрузке депо объектами ремонта

3.1.1 Обеспечение грузовых вагонных депо объектами ремонта

Стоящая сегодня перед республикой задача резкого повышения эффективности работы всех видов транспорта предопределяет более высокие требования к деятельности каждого из существующих транспортных предприятий. Решение этой задачи на железнодорожном транспорте возможно за счет повышения пропускной и провозной способностей линий железных дорог, рациональной специализации и размещения предприятий, оптимизации их структуры и т. д.

Одна из основных задач вагонного хозяйства – своевременный и качественный ремонт вагонов с минимальными затратами. Главным фактором, от которого зависит эффективность работы вагонных депо, является ритмичное обеспечение их объектами ремонта. Поэтому данному вопросу следует уделять особое внимание как при проектировании новых депо, так и при реконструкции существующих.

Вагонные депо, производящие один из плановых видов ремонта, обычно располагаются на крупных сортировочных станциях, на станциях массовой подготовки к перевозкам, погрузки и выгрузки вагонов. Наиболее рациональным, прогрессивным **методом ремонта вагонов в депо** является **п о т о ч н ы й**. Эффективность внедрения этого метода во многом предопределяется фактором своевременного обеспечения депо вагонами, требующими ремонта. В большинстве своем вагонные депо не обеспечиваются объектами со станции расположения. Поэтому возникает необходимость подсылки вагонов, требующих ремонта, с других станций. **При направлении вагонов в ремонт возможны следующие варианты:**

- 1) подсылка объектов ремонта в грузовых поездах в направлении, совпадающем с движением порожних вагонопотоков по регулировочному заданию;
- 2) передача объектов ремонта в грузовых поездах в направлении, обратном движению порожних вагонопотоков;
- 3) отбор объектов ремонта на станции расположения депо из транзитных вагонопотоков, что запрещено правилами ремонта.

Обеспечение депо объектами ремонта по **п е р в о м у** варианту вызывает *дополнительные расходы*, связанные только с переработкой вагонов на сортировочных и участковых станциях. Расходы по перемещению вагона не должны учитываться, так как он все равно двигался бы в данном направлении к пункту погрузки.

Дополнительные расходы по абсолютной величине будут равны эффективности от проследования вагонами станции без переработки и рассчитываются по типовой методике:

$$T_{\text{п}} = |T_{\text{эк}}|; \quad (3.1)$$

$$T_{\text{эк}} = (t_{\text{эк}} + \rho_{\text{в}} + \rho_{\text{п}}) R_{\text{п}}, \quad (3.2)$$

где $T_{\text{п}}$ – расходы, вызванные переработкой вагона на станции; $t_{\text{эк}}$ – экономия времени от проследования вагонами станции без переработки; $\rho_{\text{в}}$ – эквивалент переработки вагонов; $\rho_{\text{п}}$ – эквивалент перецепки поездных локомотивов; $R_{\text{п}}$ – расходная ставка приведенной стоимости одного вагоно-часа.

В случае, когда поток вагонов проходит через станцию транзитом без переработки, каждый вагон потока будет простаивать на станции меньше на $(t_{\text{пер}} - t_{\text{тр}})$ часа. Здесь $t_{\text{пер}}$ – простой транзитного вагона с переработкой, $t_{\text{тр}}$ – простой транзитного вагона без переработки. В то же время пропуск потока вагонов транзитом без переработки вызывает дополнительный простой под накоплением вагонов этого же назначения на самой станции ($t_{\text{нак}}$).

С учетом указанных факторов *экономия времени от проследования вагоном станции без переработки*

$$t_{\text{эк}} = t_{\text{пер}} - t_{\text{тр}} - t_{\text{нак}}. \quad (3.3)$$

Для дальнейших расчетов необходимо знать *эквивалент переработки вагонов* $\rho_{\text{в}}$ – отношение стоимости переработки одного вагона к стоимости вагоно-часа простоя. Этот эквивалент используется в расчетах плана формирования для учета стоимости переработки вагонов. Значение $\rho_{\text{в}}$ устанавливается для каждой станции в зависимости от имеющихся на ней технических устройств, их расположения, характера и объема работы по пропуску транзитных вагонопотоков.

Эквивалент перецепки поездных локомотивов $\rho_{\text{п}}$ используется в расчетах плана формирования для учета стоимости перецепки, обусловливаемой организацией вагонопотоков. Рекомендуются значения $\rho_{\text{п}}$ в пределах от 0,4 до 1,6 приведенных часов.

При подсылке объектов ремонта в грузовых поездах против направления потока порожних вагонов возникают дополнительные расходы по перемещению вагона туда и обратно и по переработке вагона на сортировочных и участковых станциях во время движения на станцию расположения депо. *Расходы по перемещению вагона*

$$T_{\text{пр}} = snR_0, \quad (3.4)$$

где s – расстояние подсылки; n – число осей вагона; R_0 – расходная ставка осе-километра согласно инструкции.

Тогда *суммарные дополнительные расходы по подсылке вагонов*

$$T = 2T_{\text{пр}} + kT_{\text{п}}, \quad (3.5)$$

где k – число станций, проходимых вагонами с переработками.

При отборе вагонов в ремонт из транзитного вагонопотока возникают дополнительные расходы по переработке состава на станции расположения депо. Сравнение дополнительных расходов, вызываемых подсылкой вагонов в ремонт, показывает, что экономически целесообразнее подсылать вагоны в направлении, совпадающем с движением вагонопотоков по плану формирования.

Рациональное обеспечение депо объектами ремонта позволяет их специализировать, что является одним из важнейших факторов повышения эффективности работы депо.

3.1.2 Постановка задачи

Решение поставленной задачи предусматривает определение оптимального варианта обеспечения существующих депо объектами ремонта. Предполагается также, что вагонные депо будут подвергнуты реконструкции (развитию) с целью увеличения их производственной мощности.

Необходимо иметь следующие данные:

- 1) основные характеристики грузовых вагонных депо;
- 2) существующая и перспективная производственные программы ремонта вагонов по каждому из депо;
- 3) станции (шифры), с которых производится подсылка вагонов, требующих ремонта в депо;
- 4) наличие объектов ремонта по станциям;
- 5) схема полигона;
- 6) характеристика станций;
- 7) расстояние между соседними станциями;
- 8) схема движения потока порожних вагонов.

3.1.3 Последовательность выполнения расчетов

Зная основные данные о вагонных депо (метод ремонта вагонов, производственные мощности, наличие свободных площадей, производственную программу), выбирают депо как объект для дальнейшего развития. Наибольший эффект за счет снижения себестоимости при увеличении программы ремонта вагонов достигается в диапазоне программы от 3 000 до 6 000 вагонов в год. Поэтому, прежде всего, необходимо развивать депо (если позволяют производственные площади) с программами ремонта 3 000–4 500 вагонов в год. При этом часто возникают ситуации, когда вагонные депо не обеспечиваются объектами ремонта со станции расположения. В этом случае необходима подсылка объектов с других станций. Решение задачи, преследующей цель определения оптимального варианта обеспечения депо объектами ремонта, производится в такой последовательности:

- 1) определяют тип данной задачи;
- 2) выбирают метод решения;
- 3) строят начальный вариант (план) прикрепления пунктов отбора вагонов в ремонт к депо;
- 4) проверяют условие оптимальности начального плана;
- 5) при нарушении оптимальности плана производят его улучшение до тех пор, пока не будет выполняться это условие.

В заключение производят расчет расходов на передачу вагонов, требующих ремонта, на станцию расположения депо.

3.1.4 Математическая формулировка задачи

Одним из показателей критерия оптимальности развития, размещения и специализации вагоноремонтной базы являются транспортные расходы, связанные с передачей вагонов на станцию расположения депо. При текущем и оперативном планировании работы грузовых вагонных депо задача оптимума транспортных связей решается обычно при заданных размерах и размещении ресурсов и потребностей. Оптимальным решением такой задачи будет то, которое обеспечивает минимум транспортных расходов, так как производственные расходы при разных вариантах транспортных связей не изменяются.

Целевая функция в этом случае имеет вид

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (3.6)$$

где c_{ij} – затраты в стоимостном или натуральном выражении на передачу одного вагона из пункта i в пункт j ; x_{ij} – количество вагонов, доставляемых из i в j ; m – число пунктов, на которых возможен отбор вагонов в ремонт; n – число пунктов расположения депо.

Задачу прикрепления поставщиков к потребителям принято называть “транспортной”. Это название указывает на происхождение задачи. Она может быть решена с применением методов линейного программирования. Математические методы программирования применяются главным образом в случаях, когда из многих возможных вариантов плана или оперативных производственных решений нужно выбрать наивыгоднейший (оптимальный) по какому-либо показателю.

3.1.5 Типы транспортных задач и формы их решения

Различают транспортные задачи закрытого и открытого типов. **Закрытыми** считаются задачи, решаемые в условиях заданного территориального

размещения производства и потребления продукции при сбалансированных размерах ее ресурсов и потребностей. Условие закрытой транспортной задачи:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j, \quad (3.7)$$

где a_i – количество вагонов, требующих ремонта, в пункте i ; m – количество пунктов, на которых возможен отбор вагонов в ремонт; b_j – количество вагонов, требующих ремонта, равное производственной программе депо, расположенного в пункте j ; n – количество вагонных депо.

Исследования, проведенные в БелГУТе, показали, что суточная возможность отбора вагонов, требующих ремонта, значительно (в 3–5 раз) превосходит суточную потребность. Это условие можно записать следующим образом:

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j. \quad (3.8)$$

Оно определяет **открытую** транспортную задачу.

Транспортные задачи могут быть решены в матричной и сетевой формах. Рассмотрим задачи в матричной форме.

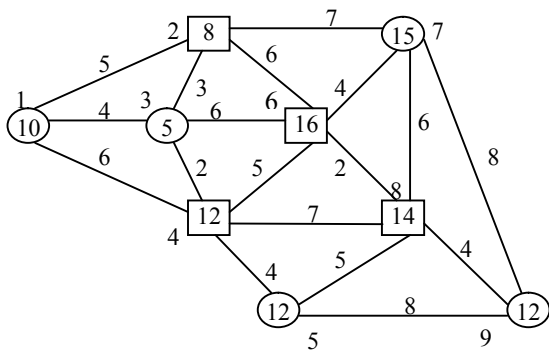


Рисунок 3.1 – Исходная схема

Имеется 5 пунктов, на которых возможен отбор вагонов в ремонт, и 4 пункта, где расположены вагонные депо (рисунок 3.1). На рисунке приняты следующие обозначения: $\textcircled{15}$ – на данной станции можно отобрать 15 вагонов, требующих ремонта; $\textcircled{12}$ – на данную станцию необходимо передать в ремонт 12 вагонов; цифры над связями

между станциями указывают на расстояние между ними.

Составляют матрицу (таблица 3.1) В правом верхнем углу каждой клетки проставляют стоимость передачи одного вагона между пунктами (в данном случае в качестве стоимостного фактора – фактор расстояния). Необходимо таким образом удовлетворить потребности в вагонах пунктов 2, 4, 6, 8, чтобы транспортные затраты были минимальными. В нижнем левом углу каждой клетки записывают количество вагонов, которое передается из

пункта отправления в пункт получения. Задача заключается в том, чтобы определить эти числа ($x_{1,2}, x_{1,4}, x_{1,6}, \dots, x_{5,8}$ и т. д.). При этом должны выполняться следующие условия:

$$\left. \begin{aligned} x_{1,2} + x_{1,4} + x_{1,6} + x_{1,8} &= 10; & x_{1,2} + x_{3,2} + x_{5,2} + x_{7,2} + x_{9,2} &= 8; \\ x_{3,2} + x_{3,4} + x_{3,6} + x_{3,8} &= 5; & x_{1,4} + x_{3,4} + x_{5,4} + x_{7,4} + x_{9,4} &= 12; \\ x_{5,2} + x_{5,4} + x_{5,6} + x_{5,8} &= 8; & x_{1,6} + x_{3,6} + x_{5,6} + x_{7,6} + x_{9,6} &= 16; \\ x_{7,2} + x_{7,4} + x_{7,6} + x_{7,8} &= 8; & x_{1,8} + x_{3,8} + x_{5,8} + x_{7,8} + x_{9,8} &= 14; \\ x_{9,2} + x_{9,4} + x_{9,6} + x_{9,8} &= 12. \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Иными словами, общее количество вагонов, передаваемое из данного пункта, должно равняться его ресурсам. Сумма прибытия продукции к каждому получателю должна быть равна его потребности, т. е.

$$\sum_j x_{ij} = a_i, \quad (j = 2, 4, 6, 8); \quad (3.10)$$

$$\sum_i x_{ij} = b_j, \quad (i = 1, 3, 5, 7, 9). \quad (3.11)$$

Таблица 3.1 – Исходная матрица

Отправители	Получатели				a_i
	2	4	6	8	
1	5	6	10	12	10
	$x_{1,2}$	$x_{1,4}$	$x_{1,6}$	$x_{1,8}$	
3	3	2	6	8	5
	$x_{3,2}$	$x_{3,4}$	$x_{3,6}$	$x_{3,8}$	
5	9	4	7	5	8
	$x_{5,2}$	$x_{5,4}$	$x_{5,6}$	$x_{5,8}$	
7	7	9	4	6	15
	$x_{7,2}$	$x_{7,4}$	$x_{7,6}$	$x_{7,8}$	
9	12	11	6	4	12
	$x_{9,2}$	$x_{9,4}$	$x_{9,6}$	$x_{9,8}$	
b_j	8	12	16	14	$\sum a_i = 50,$ $\sum b_j = 50.$

В рассматриваемой системе число уравнений равно сумме числа строк и столбцов таблицы ($m + n$), а число неизвестных – их произведению ($m \times n$). Такая система уравнений имеет бесчисленное множество решений. По смыслу задачи нас могут интересовать лишь те из них, в которых неизвестные x_{ij} не принимают отрицательных значений, т. е.

$$x_{ij} \geq 0, \quad (i = 1, 3, 5, 7, 9; j = 2, 4, 6, 8). \quad (3.12)$$

Матричная форма решения задачи недостаточно приемлема при значительном полигоне подразделений железной дороги ввиду необходимости подготовки большого объема исходной информации. В таких случаях транспортную задачу решают в сетевой форме. Для этого должны быть заданы: сеть путей сообщения (транспортные пункты – станции и участки путей сообщения, их соединяющие); количественное распределение отправок a_i и прибытия b_j ; значения показателей оптимальности c_{ij} , c_{ji} для каждого участка. Если решать задачу с ограничением пропускной способности, то для каждого участка указывают максимальную его величину d_{ij} , измеренную в тех же единицах, что и переменные x_{ij} .

Транспортные пункты называются *вершинами сети*, а участки – *звеньями*.

Сеть может быть симметричной и несимметричной. Если показатели оптимальности на звеньях в направлении туда и обратно одинаковы, то сеть считается *симметричной* (см. рисунок 3.1). При решении задачи прикрепления пунктов отбора вагонов в ремонт к пунктам расположения депо с учетом потока порожних вагонов сеть *несимметричная*, так как стоимость передачи вагонов в ремонт в направлении, совпадающем с движением порожних вагонопотоков, значительно меньше, чем против направления движения.

После получения исходной информации все вершины сети разбивают на три категории: пункты отправления груза, пункты назначения, свободные вершины, т. е. те пункты, которые не отправляют и не получают данный груз.

Выше было отмечено, что задача прикрепления пунктов отбора вагонов в ремонт к пунктам расположения депо является открытой. Перевод ее в закрытую осуществляется следующим образом.

При матричной форме необходимо в исходную матрицу (см. таблицу 3.1) ввести дополнительно “фиктивный” пункт потребления (q). Потребность пункта q

$$b_q = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j. \quad (3.13)$$

Другими словами, все вагоны, требующие ремонта, должны быть отправлены в пункты потребления [должно быть выполнено условие (3.10)].

В рассматриваемой задаче в роли фиктивного пункта выступает “фиктивное” депо. Фактически этого депо не существует, значит, вагоны в ремонт в это депо не передаются. Это условие в исходной матрице выражается наличием нулевых стоимостных показателей в “фиктивном” столбце.

Допустим, что в пункте 5 (рисунок 3.2) имеется 12 вагонов, которые можно отобрать в ремонт. Тогда задача становится открытой, так как

$$\sum_{i=1}^m a_i = 54; \quad \sum_{j=1}^n b_j = 50; \quad 54 > 50, \text{ и исходной для расчета будет матрица, приве-$$

денная в таблице 3.2.

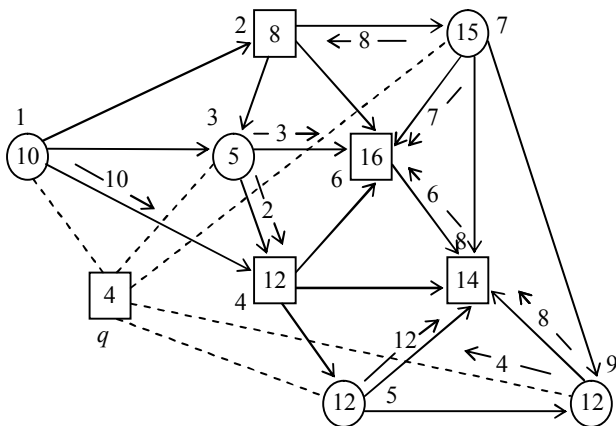


Рисунок 3.2 – Вариант прикрепления пунктов производства к пунктам потребления

Таблица 3.2 – Матрица закрытой задачи

Отправители	Получатели					a_i
	2	4	6	8	q	
1	5	6	10	12	0	10
	$x_{1,2}$	$x_{1,4}$	$x_{1,6}$	$x_{1,8}$	$x_{1,q}$	0
3	3	2	6	8	0	5
	$x_{3,2}$	$x_{3,4}$	$x_{3,6}$	$x_{3,8}$	$x_{3,q}$	0
5	9	4	7	5	0	12
	$x_{5,2}$	$x_{5,4}$	$x_{5,6}$	$x_{5,8}$	$x_{5,q}$	0
7	7	9	4	6	0	15
	$x_{7,2}$	$x_{7,4}$	$x_{7,6}$	$x_{7,8}$	$x_{7,q}$	0
9	12	11	6	4	0	12
	$x_{9,2}$	$x_{9,4}$	$x_{9,6}$	$x_{9,8}$	$x_{9,q}$	0
b_j	8	12	16	14	4	$\Sigma a_i = 50,$ $\Sigma b_j = 50.$

В случае решения задачи в сетевой форме на исходный полигон (см. рисунок 3.2) наносится “фиктивный” пункт расположения депо (q). Этот пункт имеет связи со всеми пунктами, на которые возложен отбор вагонов в ремонт. Стоимость “передачи” вагонов в пункт q равна нулю, так как вагоны остаются в этих пунктах, а стоимость в направлении qi принимаем равной максимально большому числу M . Это делается с той целью, чтобы исключить из рассмотрения вариант передачи вагонов из пункта q в пункт i и дальше к j . Расположение пункта q на полигоне выбирается произвольным.

На рисунке 3.2 стрелками указано направление движения потока порожних вагонов.

3.1.6 Методы решения транспортной задачи

В настоящее время известно несколько методов (алгоритмов) решения транспортной задачи линейного программирования.

Одна группа этих методов основана на **принципе последовательного улучшения плана**, когда выбранный определенным образом первоначальный план при помощи расчетов улучшается до тех пор, пока он не станет оптимальным. Первой формой решения транспортной задачи путем последовательного улучшения плана является метод круговых (контурных) разниц. При сложных сетях этот метод требует очень большого количества вычислений и в связи с появлением более совершенных методов в настоящее время практически не применяется. Второй, наиболее распространенной, формой решения задачи является метод потенциалов.

Другая группа методов основана на **принципе последовательного сокращения невязок**. В этом случае оптимальный план достигается при движении по векторам с неотрицательными компонентами. Правила перехода от одного вектора к другому обеспечивает сокращение разностей между правыми и левыми частями условий – равенств.

3.1.7 Способы составления начального плана прикрепления пунктов возможного отбора вагонов в ремонт

Трудоемкость решения транспортных задач значительно сокращается, если первоначальное распределение будет ближе к оптимальному. Начальный план должен быть допустимый, т. е. удовлетворять ограничениям (3.10) и (3.11). Для составления начальных планов при матричной форме существует целый ряд методов.

Метод северо-западного угла (диагональный) не предусматривает использования стоимостных показателей (см. таблицу 3.1), поэтому составляют матрицу по форме, указанной в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Исходный вариант к построению начального плана

Отправители	Получатели				a_i
	2	4	6	8	
1					10
3					5
5					8
7					15
9					12
b_j	8	12	16	14	$\sum a_i = 50,$ $\sum b_j = 50.$

Назначение корреспонденции x_{ij} начинается с клетки, находящейся слева вверху [клетка (1, 2)]. В эту клетку назначаем корреспонденцию, необхо-

димую пункту 2, если это позволяет ресурс пункта 1. Столбец 2 исключаем из рассмотрения. Оставшийся ресурс пункта 1 (2 единицы) назначаем в клетку (1, 4). Пункту 4 не достает 10 единиц. Переходим к ресурсам пункта 3: все 5 единиц этого пункта назначаем в клетку (3, 4). И в этом случае не удовлетворены потребности пункта 4. Используем ресурс пункта 9. Из 8 единиц пункта 5 в пункт 4 направлены недостающие ему 5 единиц и т. д.

Полученный таким образом начальный план приведен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Начальный план

Отправители	Получатели				a_i
	2	4	6	8	
1	8	2			10
3		5			5
5		5	3		8
7			13	2	15
9				12	12
b_j	8	12	16	14	$\sum a_i=50,$ $\sum b_j=50.$

Корреспонденции записываем в левом нижнем углу каждой клетки. Заметим, что число строк равно числу отправлений, а число столбцов – числу получателей. Следовательно, записывая очередную корреспонденцию в клетку матрицы, мы исключаем из рассмотрения или отправителя, или получателя. Заполняя корреспонденцией последнюю клетку, исключаем из рассмотрения сразу и отправителя, и получателя. Тогда число клеток с корреспонденцией должно быть равно сумме чисел строк и столбцов без единицы. Такой вариант плана, когда число корреспонденции равно сумме числа строк и столбцов без единицы, называется базисным. Известно, что оптимальное решение задачи всегда находится среди базисных вариантов.

Метод наименьшего значения показателя оптимальности дает решение, более близкое к оптимальному, чем способ северо-западного угла. Для этого метода необходимо иметь всю исходную матрицу (см. таблицу 3.1). Находим в таблице 3.1 клетку с минимальным стоимостным показателем. Это клетка (3, 4), где $C_{3,4} = 2$. Назначаем в эту клетку максимально возможную корреспонденцию ($x_{3,4} = 5$), так как $a_3 = 5$ (таблица 3.5).

Вычеркиваем строку 3 из рассмотрения. В оставшейся части матрицы вновь отыскиваем клетку с минимальным стоимостным показателем – клетку (9, 8). Назначаем в эту клетку корреспонденцию ($x_{9,8} = 12$) и т. д. Число корреспонденции равно $m + n - 1 = 5 + 4 - 1 = 8$, т. е. получили базисное решение.

Метод двойного предпочтения дает возможность получения начального плана, сравнительно близкого к оптимальному. По этому способу нахо-

дим в каждой из строк клетки с минимальным значением критерия (*), затем то же проделываем в каждом столбце (*). Отдельные клетки имеют минимальное значение критерия как по строке, так и по столбцу $\begin{pmatrix} * \\ * \end{pmatrix}$. В нашем случае (см. таблицу 3.2) это клетки (3, 4), (7, 6), (9, 8) (таблица 3.6).

Таблица 3.5 – Базисное решение по методу наименьшего значения

Отправители	Получатели				a_i	
	2	4	6	8		
1	8	5	6	10	12	10
3		3	2	6	8	5
5		9	4	7	5	8
7		7	9	4	6	15
9		12	11	6	4	12
b_j	8	12	16	14		$\sum a_i = 50$, $\sum b_j = 50$.

Таблица 3.6 – Базисное решение по методу двойного предпочтения

Отправители	Получатели				a_i	
	2	4	6	8		
1	8	* 5	6	10	12	10
3		* 3	* 2	6	8	5
5		9	4	7	5	8
7		7	9	* 4	6	15
9		12	11	* 6	* 4	12
b_j	8	12	16	14	* 12	$\sum a_i = 50$, $\sum b_j = 50$.

Назначаем в такие клетки максимально возможные корреспонденции: в клетку (3, 4) – 5; (7, 6) – 15; (9, 8) – 12. В оставшейся части матрицы корреспонденции распределяем по способу наименьшего значения критерия, заполняя сначала клетки, отмеченные знаком (*). Число корреспонденций равно $m + n - 1$ (базисное решение).

Существуют также и другие методы построения начального плана при матричной форме решения задачи. Однако они более громоздки.

Мы уже отмечали, что оптимальное решение задачи лежит среди базисных вариантов. Возможны такие случаи решения задачи, когда назначение корреспонденции в какую-то клетку требует исключения из дальнейшего рассмотрения и строк (исчерпались ресурсы пункта), и столбцов (удовлетворена потребность пункта). Такой случай называется “вырожденным”. Число корреспонденции у него меньше, чем $m + n - 1$. Для решения задачи некоторыми способами, например методом потенциалов, требуется получить число клеток с корреспонденцией, равное $m + n - 1$. Поэтому вводят в одну из клеток “искусственный ноль”, считая эту клетку занятой, и продолжают решение задачи до получения оптимального плана.

Все перечисленные методы построения начального плана для матричных задач могут быть реализованы на ЭВМ. Специальных способов составления начального плана, близкого к оптимальному, при решении сетевых задач на ЭВМ пока еще нет. При решении задач вручную начальный план целесообразно составлять произвольно, руководствуясь здравым смыслом и не допуская встречных перевозок. Таким образом, был построен начальный план, приведенный на рисунке 3.2. Цифры у связей указывают на величины корреспонденции в направлении стрелок. В начальном плане прикрепления не должно быть замкнутых контуров. Количество занятых звеньев должно быть $n - 1$, где n – число вершин сети. Пункт 9 не исчерпал всех своих ресурсов (открытая задача), поэтому оставшийся продукт (4 вагона) отправляем в “фиктивный” пункт.

3.1.8 Оптимизация плана

После построения начального плана его улучшают до оптимального одним из наиболее распространенных методов – **методом потенциалов**. Этот метод успешно применяется для решения задач и в матричной, и в сетевой формах.

Условие оптимальности плана формулируется следующим образом. *Рассматриваемый план является оптимальным тогда, когда каждому отправителю i и получателю j могут быть приписаны числа U_i и V_j (потенциалы). Эти числа должны отвечать следующим условиям:*

$$V_j - U_i \leq C_{i,j}, \text{ если } x_{i,j} = 0; \quad V_j - U_i = C_{i,j}, \text{ если } x_{i,j} > 0. \quad (3.14)$$

Из равенства (3.14) получаем

$$V_j = U_i + C_{i,j}; \quad U_i = V_j - C_{i,j}. \quad (3.15)$$

Для решения задачи необходимо знать хотя бы один потенциал (столбца или строки). Из условия (3.14) видно, что в процессе расчетов нас интересует только разность потенциалов, поэтому начальный потенциал можно выбрать произвольным. Его необходимо принимать равным достаточно большому числу, по сравнению с любым $C_{i,j}$ занятых клеток, чтобы избежать расчетов с отрицательными числами. В этих же целях начальный потенциал необходимо назначать для столбца или строки с наибольшим значением $C_{i,j}$ в занятых клетках.

Условие оптимальности плана для сетевой задачи определяется следующим образом.

План оптимален только тогда, когда

$$V_s - U_r \leq C_{r,s}, \text{ если } x_{r,s} = 0; V_s - U_r = C_{r,s}, \text{ если } x_{r,s} > 0, \quad (3.16)$$

где r, s – вершины, ограничивающие звено; $C_{r,s}$ – значение показателя оптимальности на звене rs ; $x_{r,s}$ – корреспонденция на звене rs от вершины r к s .

Из условия (3.16) видно, что, $V_s = U_r + C_{r,s}$ т. е. потенциал следующей по направлению движения корреспонденции $x_{r,s}$ вершины, равен потенциалу предыдущей вершины U_r , увеличенному на значение показателя оптимальности для соединяющего эти вершины звена ($C_{r,s}$).

Если известен потенциал последующей вершины V_s , то, двигаясь против грузопотока по базисному звену rs , определим потенциал предыдущей вершины: $U_r = V_s - C_{r,s}$.

Рассчитаем потенциалы вершин для сети, приведенной на рисунке 3.2. Показатели оптимальности для звеньев сети следующие:

$$\begin{aligned} C_{1,2} &= 5; C_{1,3} = 2; C_{1,4} = 6; C_{2,7} = 7; C_{2,6} = 8; C_{2,3} = 3; C_{2,1}^* = 100; \\ C_{3,1}^* &= 100; C_{3,2}^* = 100; C_{3,4}^* = 2; C_{3,6} = 6; C_{4,1}^* = 100; C_{4,3}^* = 100; C_{4,5} = 4; \\ C_{5,4}^* &= 100; C_{5,8} = 5; C_{5,9} = 11; C_{4,6} = 5; C_{4,8} = 9; C_{6,2}^* = 100; C_{6,3}^* = 100; \\ C_{6,4}^* &= 100; C_{6,7}^* = 100; C_{6,8} = 3; C_{7,2}^* = 100; C_{7,6} = 4; C_{7,8} = 6; C_{7,9}^* = 100; \\ C_{3,4}^* &= 100; C_{8,5}^* = 100; C_{8,6}^* = 100; C_{8,6}^* = 100; C_{8,7}^* = 100; \\ C_{8,9}^* &= 100; C_{9,5}^* = 100; C_{9,7} = 8; C_{9,8} = 4. \end{aligned}$$

Выше было сказано, что передача вагонов в ремонт наиболее эффективна в направлении, совпадающем с движением порожних вагонопотоков. Для того чтобы исключить передачу вагонов против направления движения ва-

гонопотоков, принимаем стоимость передачи вагонов в этом направлении, равной произвольно большому числу (в нашем случае принимаем число 100). Можно было бы оставить истинное значение стоимостей, однако тогда для получения оптимального решения необходимо было бы произвести значительно больший объем вычислительных работ.

Принимаем начальный потенциал вершины 1 равным 100 ($U_1 = 100$). Звено (1, 4) является базисным ($x_{1,4} = 10$), значит, используя равенство (3.6), можно определить потенциал вершины 4 (в этом случае вершина 1 – предыдущая, а 4 – последующая):

$$V_4 - U_1 = C_{1,4} \text{ или } V_4 = U_1 + C_{1,4} \text{ и } V_4 = 100 + 6 = 106.$$

Следуя по базисным звеньям, определяем потенциал для всех вершин (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Потенциалы вершин

Звено	Потенциалы вершин	Звено	Потенциалы вершин	Звено	Потенциалы вершин
3, 4	$U_3 = 104$	8, 6	$U_8 = 10$	7, 2	$U_2 = 206$
3, 6	$V_6 = 110$	5, 8	$U_5 = 6$	9, q	$V_q = 1$
7, 6	$U_7 = 106$	9, 8	$U_9 = 1$		

Имея величины потенциалов для всех вершин, приступаем к проверке плана на оптимальность, используя неравенство (3.16):

для звена 1, 2: $206 - 100 > 5$ – нарушение $H = 101$;

для звена 2, 1: $100 - 206 < 100$ – условие соблюдается ($H = 0$);

для звена 1, 3: $104 - 100 > 2$ – нарушение $H = 2$;

для звена 4, 8: $110 - 106 < 9$ – условие соблюдается ($H = 0$).

Аналогичным образом проверяем выполнение условия (3.16) для остальных звеньев (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Результаты проверки плана на оптимальность

Звено	Разность потенциалов	Заключение	Звено	Разность потенциалов	Заключение	Звено	Разность потенциалов	Заключение
3, 1	$100 - 104$	$H = 0$	4, 5	$5 - 106$	$H = 0$	q, 7	$106 - 1$	$H = 5$
2, 3	$104 - 206$	$H = 0$	5, 4	$106 - 5$	$H = 1$	7, q	$1 - 106$	$H = 0$
3, 2	$206 - 104$	$H = 2$	5, 9	$1 - 5$	$H = 0$	5, q	$1 - 5$	$H = 0$
2, 6	$110 - 206$	$H = 0$	9, 5	$5 - 1$	$H = 0$	q, 5	$5 - 1$	$H = 0$
6, 2	$206 - 110$	$H = 0$	8, 7	$106 - 10$	$H = 0$	3, q	$1 - 104$	$H = 0$
4, 6	$110 - 106$	$H = 0$	7, 8	$10 - 106$	$H = 0$	q, 3	$104 - 1$	$H = 3$
6, 4	$106 - 110$	$H = 0$	7, 9	$1 - 106$	$H = 0$	1, q	$1 - 100$	$H = 0$
8, 4	$106 - 10$	$H = 0$	9, 7	$100 - 1$	$H = 97$	q, 1	$100 - 1$	$H = 0$

Наличие нарушений на небазисных звеньях свидетельствует о том, что начальный план не является оптимальным. Его можно улучшить назначением корреспонденции на звено с нарушением.

Однако у нас имеется семь звеньев с нарушениями. Для того чтобы получить максимальный эффект от улучшения плана, необходимо корреспонденцию назначать на звено, имеющее максимальное нарушение (1, 2). С этой целью следует построить замкнутый контур, включающий в себя базисные звенья и звено с максимальным нарушением. В нашем случае это будет контур 1, 2 – 2, 7 – 7, 6 – 6, 3 – 3, 4 – 4, 1. Правило построения контура следующее. Необходимо выйти со звена с нарушением, пройти по занятым звеньям и вернуться на звено с нарушением. План будет улучшен в том случае, если мы назначим корреспонденцию на звено 1, 2 в направлении от вершины 1, имевшей меньший потенциал (100), к вершине 2, имеющей больший потенциал (206). Назначение корреспонденции на звено 1, 2 потребует изменения величин корреспонденции на других звеньях, входящих в контур. Правило изменения корреспонденции следующее. На звеньях, где направление корреспонденции совпадает с направлением $x_{1,2}$, величина $x_{r,s}$ увеличивается, а на оставшихся – уменьшается. Величина улучшения определяется как

$$x_{удл} = \min x_{r,s_{встр}}. \quad (3.17)$$

В рассматриваемом примере попутные корреспонденции $x_{7,6} = 7$; $x_{3,4} = 2$, встречные – $x_{7,2} = 8$; $x_{3,6} = 3$; $x_{1,4} = 10$. Тогда $x_{удл} = \min(8, 3, 10) = 3$.

В улучшенном плане (рисунок 3.3)

$$x_{1,2} = 3; x_{7,6} = 10; x_{3,4} = 5; x_{7,2} = 5; x_{3,6} = 0; x_{1,4} = 7.$$

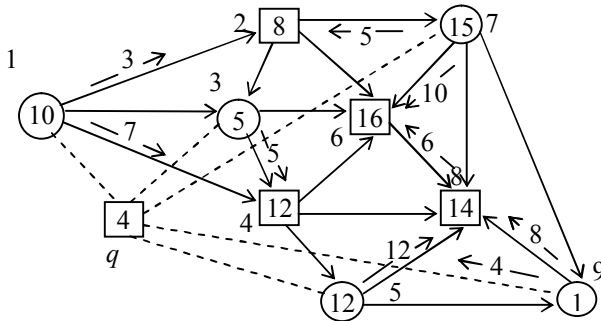


Рисунок 3.3 – Улучшенный вариант прикрепления пунктов производства к пунктам потребления

Улучшенную схему следует вновь проверить на оптимальность. С этой целью опять необходимо определить потенциалы вершин. При этом нужно пересчитывать потенциалы для тех вершин, к которым вагоны поступают с других направлений, по сравнению с начальным планом (см. рисунок 3.2, вершины 6, 3, 7, 8, 2).

на станции можно отобрать в ремонт 28 полувагонов, требующих ремонта, стрелка указывает направление движения потока порожних полувагонов.

Исходные данные о наличии объектов ремонта по станциям полигона приведены в таблице 3.10. В качестве исходных данных заданы также характеристики станций полигона (таблица 3.11).

Таблица 3.9 – Характеристика станций расположения депо

Шифр станции	Суточная ремонтная программа	Количество вагонов, которые можно отобрать в ремонт
0104	36	15
0107	32	15
0111	24	12
0112	31	26
0115	30	14
0119	24	14
0121	24	5

Таблица 3.10 – Характеристика станций по наличию объектов ремонта

Шифр станции	Количество объектов ремонта	Шифр станции	Количество объектов ремонта	Шифр станции	Количество объектов ремонта
0102	7	0110	5	0118	10
0103	25	0111	12	0119	14
0104	15	0112	26	0120	17
0105	5	0113	12	0121	5
0106	10	0114	30	0122	88
0107	15	0115	14		
0108	28	0116	8		

Таблица 3.11 – Характеристика станций полигона

Шифр станции	Характеристика станции	Общий вагонопоток, тыс. вагонов в сутки	Коэффициент переработки
0101	Сортировочная с механизированной горкой	Свыше 8	Свыше 0,85
0102	” с немеханизированной горкой	До 3	0,56–0,65
0103	Участковая с горкой малой мощности	3–5	До 0,55
0104	Сортировочная с механизированной горкой	До 6	До 0,55
0105	С полугоркой	2–3	До 0,55
0106	Сортировочная с немеханизированной горкой	До 3	0,56–0,65
0107	” с механизированной горкой	До 6	0,56–0,65
0108	” с немеханизированной горкой	3–6	0,66–0,75
0109	Станция с горкой малой мощности	1–2	До 0,55
0110	Сортировочная с немеханизированной горкой	До 3	0,66–0,75
0111	” с механизированной горкой	6–8	0,66–0,75
0112	” с немеханизированной горкой	Свыше 6	0,76–0,85
0113	Безгорочная	2–3	0,86–0,75
0114	Сортировочная с механизированной горкой	6–8	0,76–0,85
0115	С горкой малой мощности	3–5	0,56–0,65
0116	Участковая с полугоркой	2–3	До 0,55
0117	Безгорочная	1–2	До 0,55

0118	Сортировочная с немеханизированной горкой	До 3	0,56–0,65
0119	” с немеханизированной горкой	До 3	0,76–0,85
0120	Участковая	3–5	0,76–0,85
0121	Сортировочная с механизированной горкой	6–8	0,56–0,85
0122	” с автоматизированной горкой	Свыше 8	0,76–0,85

Анализ взаимного расположения вагонных депо на сети дорог показал, что возможны следующие наиболее распространенные варианты:

1 Требуется подсылка вагонов на одно тяговое плечо (рисунок 3.5, а). В этом случае расходы по передаче вагонов определяются переработкой вагонов на станции расположения депо, т. е.

$$C_{i,j} = 2T_{n,j}, \quad (3.18)$$

где $C_{i,j}$ – стоимость передачи одного вагона из пункта i в пункт j ; 2 – количество переработок, которым подвергается вагон на станции j ; $T_{n,j}$ – стоимость переработки одного вагона на станции j .

2 Требуется подсылка с прохождением переработки на сортировочной станции (рисунок 3.5, б). Тогда стоимость передачи вагонов на звене (i, j) будет определяться стоимостью переработки на станции j , а стоимость на звене (j, k) – стоимостью двух переработок на станции k .

3 Поток порожних вагонов проходит через два вагонных депо, расположенных друг за другом (рисунок 3.5, в). В этом случае при подсылке вагонов со станции i на станцию j рассматривается вариант 1, а при подсылке вагонов на станцию k необходимо учесть, что эти вагоны пройдут одну переработку на станции j и две – на станции k .

В рассматриваемой задаче (см. рисунок 3.4) вагонные депо на станциях 0104 и 0111, 0104 и 0112, 0121 и 0119 находятся на пути следования одних и тех же потоков порожних вагонов (вариант 3, рисунок 3.5, в).

Для удобства решения задачи вводим фиктивные связи: 0103, 0111; 0103, 0112; 0105, 0111; 0105, 0112; 0122, 0119. Стоимость передачи вагонов по таким связям определяют, как указано в варианте 3. Например, при передаче вагонов в ремонт со станции 0103 на 0112

$$C_{0103,0112} = T_{n,0104} + 2T_{n,0112}, \quad (3.19)$$

где $T_{n,0104} + 2T_{n,0112}$ – стоимость переработки вагонов на станциях 0104 и 0112 соответственно.

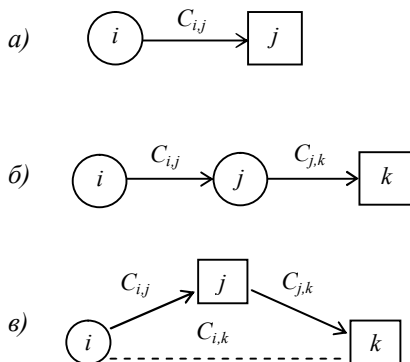


Рисунок 3.5 – Варианты обеспечения грузового вагонного депо объектами ремонта

Подготовка задачи к решению включает в себя расчет стоимостных показателей для каждого из звеньев.

Расчеты $C_{i,j}$ выполнены по формуле (3.2) с учетом данных таблицы 3.11. Например, стоимость передачи вагонов по звену 0101, 0102 определяется переработкой на станции 0102, по звену 0101, 0107 – двумя переработками на станции 0107, по звену 0103, 0112 – переработкой на 0104 и двумя переработками на 0112.

Подставив значения $t_{эк}$, ρ_B , ρ_n и $e_n H$ в формулу (3.2), получим необходимые величины (таблица 3.12).

Таблица 3.12 – Результаты расчета стоимостных показателей в условных единицах на вагон

Звено	Значение	Звено	Значение	Звено	Значение	Звено	Значение
0102, 0103	49,2	0106, 0109	42,1	0112, 0113	45,7	0120, 0117	54,9
0102, 0105	45,1	0107, 0106	35,7	0114, 0115	85,6	0121, 0119	71,4
0102, 0106	35,7	0108, 0107	87,0	0116, 0115	85,6	0121, 0120	42,1
0103, 0104	57,1	0108, 0109	42,1	0117, 0118	37,1	0122, 0108	31,1
0104, 0112	62,8	0108, 0120	42,1	0118, 0116	59,3	0122, 0121	54,2
0104, 0114	24,3	0109, 0110	36,4	0118, 0115	85,6	0103, 0111	81,3
0104, 0111	52,8	0110, 0116	59,3	0119, 0117	54,9	0105, 0112	91,3
0105, 0104	57,1	0111, 0110	36,4	0119, 0118	37,1	0105, 0111	81,3
0106, 0111	52,8	0111, 0114	24,3	0120, 0110	36,4	0122, 0119	101,5

Для решения задачи необходимо знать по каждому пункту отправления количество вагонов, требующих ремонта, которое можно отобрать в ремонт и отправить на другую станцию, а также количество вагонов, которое должно быть получено станцией расположения депо для удовлетворения производственной программы. Поэтому схему (см. рисунок 3.4) необходимо несколько преобразовать. Например, в пункте 0101 имеется вагонное депо. Обычно в таком случае этот пункт является потребителем, т. е. ему необходимо передавать вагоны в ремонт. Однако пункт 0101 питается своими ресурсами (суточная ремонтная программа меньше, чем количество вагонов, которое можно отобрать в ремонт на самой станции), поэтому он переходит в разряд потенциальных отправителей с ресурсом $45 - 36 = 9$ вагонов в сутки. И в дальнейшем будем считать, что на полигоне имеется 7 депо, которые необходимо обеспечить объектами ремонта (исключая депо на станции 0101). Потребность пунктов расположения депо определяем как разность между программой ремонта вагонов и возможностью отбора вагонов на станции.

Выше было отмечено, что подсылка вагонов в ремонт в направлении, совпадающем с движением потоков порожних вагонов, вызывает расходы только за счет переработки на сортировочной станции. Для того, чтобы исключить передачу вагонов против направления движения потока порожних вагонов, как заведомо неэффективную, принимаем, что условная стоимость в этом случае равна 1000 у. е./ваг.

Таким образом, имеются все необходимые данные для решения задачи, которое производится в следующем порядке.

Шаг 1. Определяем объемы потребления в пунктах расположения депо:

$$\sum x_{0104,j} = n_{0104} - a_{0104} \quad (j \neq 0104),$$

где $\sum x_{0104,j}$ – суммарное количество вагонов, требующих ремонта, которое должно быть передано в пункт 0104 со всех пунктов j ; n_{0104} – суточная ремонтная программа депо, расположенного на станции 0104; a_{0104} – количество вагонов, требующих ремонта, которые можно отобрать в ремонт на станции 0104.

Аналогично определим это число для остальных пунктов:

$$\begin{aligned} \sum x_{0104,j} = 36 - 15 = 21; \quad \sum x_{0107,j} = 32 - 15 = 17; \quad \sum x_{0111,j} = 12; \quad \sum x_{0115,j} = 16; \\ \sum x_{0121,j} = 19; \quad \sum x_{0112,j} = 5; \quad \sum x_{0119,j} = 10. \end{aligned}$$

Шаг 2. Устанавливаем тип транспортной задачи. С этой целью определяем суммарное количество вагонов, которое можно отобрать в ремонт, по всем станциям полигона:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m a_i = 45 + 7 + 25 + 15 + 5 + 10 + 15 + 28 + 14 + 5 + 12 + 26 + 12 + 30 + 14 + 8 + 15 + \\ + 10 + 14 + 17 + 5 + 88 = 420, \end{aligned}$$

а также суммарную производственную программу депо

$$\sum_{j=1}^n b_j = 36 + 36 + 32 + 24 + 31 + 30 + 24 + 24 = 237.$$

Сравнение полученных величин ($420 > 237$) указывает на то, что данная задача – открытого типа.

Шаг 3. Переводим открытую задачу в закрытую.

Поскольку по условиям задачи объемы производства (наличие вагонов, требующих ремонта) больше объема потребления (производственная программа депо), необходимо ввести “фиктивный” потребитель (q). Потребность пункта

$$b_q = 420 - 237 = 183.$$

На рисунке 3.6 приведена расчетная схема полигона. Стоимость передачи вагонов от пунктов отбора к q равна 0, т. е. $C_{i,q} = 0$, а $C_{q,i} = 1000$ у. е./ваг.

Шаг 4. Строим начальный план прикрепления к депо пунктов отбора вагонов в ремонт.

Условия построения плана следующие.

1 Все вагоны, требующие ремонта, должны быть направлены в пункты потребления.

2 Потребность депо в вагонах должна быть удовлетворена. Начальный план строим произвольно, избегая, по возможности, встречные перевозки. На рисунке 3.6 приведен начальный план. Направление передачи вагонов указано стрелками у связей, в разрыве стрелок стоят числа, указывающие количество передаваемых вагонов:

$$\begin{aligned}x_{0101,0107} &= 9; x_{0108,0107} = 8; x_{0122,0121} = 19; x_{0122,0119} = 10; x_{0102,0106} = 2; \\x_{0102,0103} &= 1; x_{0103,0104} = 21; x_{0103,0112} = 5; x_{0110,0116} = 8; x_{0116,0113} = 16; \\x_{0109,0110} &= 3; x_{0106,0111} = 12; x_{0102,q} = 4; x_{0114,q} = 30; x_{0113,q} = 12; x_{0109,q} = 11; \\x_{0108,q} &= 20; x_{0120,q} = 17; x_{0117,q} = 15; x_{0118,q} = 10; x_{0122,q} = 59; x_{0105,q} = 5.\end{aligned}$$

Количество занятых звеньев (22) указывает на то, что получено базисное решение ($k - 1$, где k – количество вершин сети).

Аналогично рассчитываем потенциалы для остальных вершин. Результаты расчета сводим в таблицу 3.13.

Таблица 3.13 – Результаты расчета потенциалов

Номера вершин	Варианты прикрепления пунктов к депо					Номера вершин	Варианты прикрепления пунктов к депо				
	начальный	I	II	III	оптимальный		начальный	I	II	III	оптимальный
0101	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	0112	2 423	2 423	2 423	1 913	1 913
0102	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	0113	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
0103	1 492	1 492	1 492	1 000	1 000	0114	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
0104	2 063	2 063	2 063	1 571	1 571	0115	2 813	1 856	1 856	1 856	1 856
0105	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	0116	1 957	1 000	1 000	1 000	1 000
0106	1 357	1 357	1 357	1 357	1 285	0117	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
0107	1 670	1 670	1 670	1 670	1 670	0118	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
0108	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	0119	2 015	2 015	2 015	2 015	2 015
0109	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	0120	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
0110	1 364	407	1 000	1 000	1 000	0121	1 542	1 542	1 542	1 542	1 542
0111	1 885	1 885	1 885	1 885	1 813	0122	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000

Шаг 6. Проверяем план на оптимальность. С этой целью анализируем звенья, на которых нет корреспонденции, т. е. проверяем выполнение условия (3.16). Нарушение условия оптимальности указывает на то, что начальный план не оптимальный.

Результаты расчета сводим в таблицу 3.14, где знаком “+” обозначены звенья, для которых выполняется условие оптимальности.

Таблица 3.14 – Результаты анализа плана на оптимальность

Звено	Варианты улучшения				
	начальный	I	II	III	оптимальный
0118, 0116	$H = 364$	+	+	+	+
0118, 0115	$H = 957$	–	–	–	–
0105, 0112	$H = 510$	$H = 510$	$H = 510$	–	–
0114, 0115	$H = 957$	+	+	+	+
0103, 0111	+	+	+	$H = 72$	–
0105, 0104	$H = 492$	$H = 492$	$H = 492$	+	+
0110, q	+	$H = 593$	–	–	–

Шаг 7. Улучшаем начальный план. Для этого необходимо перераспределить корреспонденции по звеньям таким образом, чтобы звено с максимальным нарушением получило корреспонденцию. С этой целью строим замкнутый контур, который включает в себя звено с максимальным нарушением и звенья с корреспонденциями. В нашем случае максимальное нарушение ($H = 957$) – на звеньях 0118, 0115 и 0114, 0115. Выбираем одно из звеньев (произвольно) – 0118, 0119. Замкнутый контур включает в себя следующие звенья: 0118, 0115; 0115, 0116; 0116, 0110; 0110, 0109; 0109, q ; q , 0118. На рисунке 3.6 контур обозначен утолщенными линиями. Величину корреспонденции, которую необходимо назначить на звено 0118, 0115, определяем по формуле (3.21): $x_{y1} = \min(16, 8, 3, 10) = 3$. Увеличиваем на это число все кор-

респонденции звеньев замкнутого контура, которые совпадают с направлением звена 0118, 0115 (звено 0109, q), и уменьшаем на всех остальных звеньях.

Улучшенный план прикрепления пунктов отбора вагонов в ремонт к пунктам расположения депо показан на рисунке 3.7.

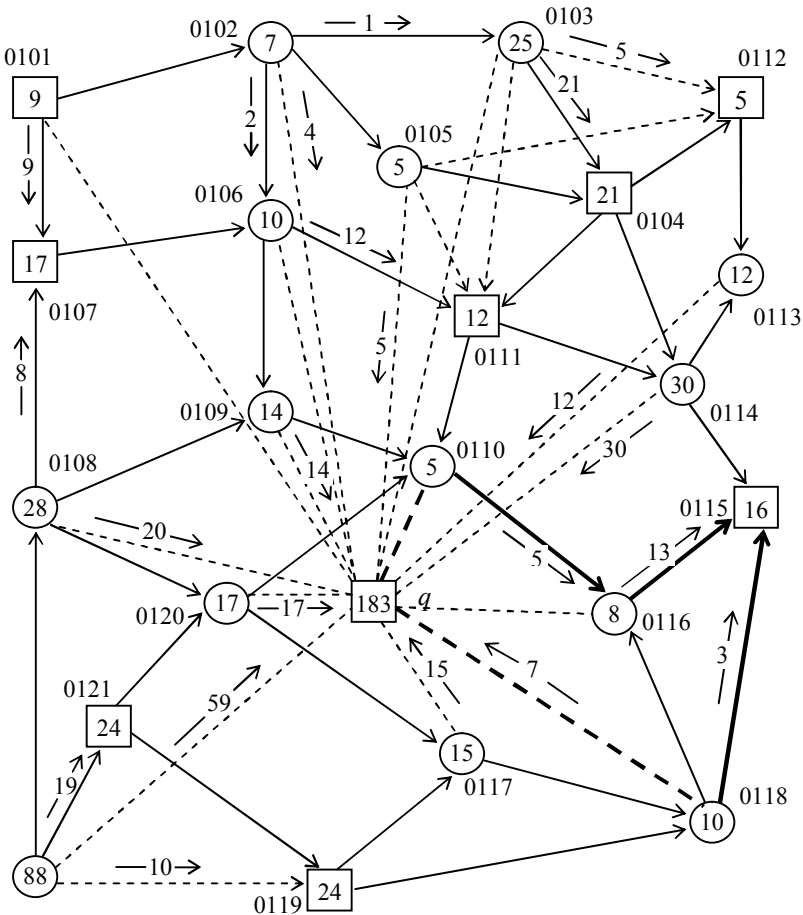


Рисунок 3.7 – I вариант улучшения плана

Шаг 8. Определяем потенциалы вершин. Как было указано выше, потенциалы пересчитывают только для тех вершин, к которым вагоны поступают с других направлений. В рассматриваемом примере такими вершинами являются 0110, 0115 и связанная с ними базовыми звеньями вершина 0116. Расчеты выполняем аналогично приведенным в шаге 5.

Значение потенциалов для I варианта улучшения заносим в таблицу 3.13.

Шаг 9. Проверяем план на оптимальность. Проверку делаем для тех звеньев, у которых потенциалы вершин изменились. Проверка необходима, если потенциал изменился хотя бы у одной вершины звена. К таким звеньям относятся 0109, 0110; 0111, 0110; 0120, 0110; 0110, q ; 0116; 0118; 0114, 0115; 0116, q . По ним имеются нарушения, которые были при начальном плане и не изменились, и добавилось нарушение в размере 593 на звене 0110, q .

Результаты расчета заносим в таблицу 3.14. К свободным звеньям добавилось звено 0109, 0110, которое раньше было базовым. Записываем его в таблицу. В то же время звено 0118, 0115 стало базовым, поэтому против этого звена в таблице 3.14 ставим знак “–”. Нарушение 593 на звене 0110, q является максимальным.

Шаг 10. Улучшаем план. Строим замкнутый контур: 0110, $q - q$, 0118 – 0118, 0115 – 0115, 0116 – 0116, 0110.

Величина улучшения плана $x_{ул} = \min(7, 13, 5) = 5$. План прикрепления пунктов отбора вагонов в ремонт к пунктам расположения депо после второго улучшения показан на рисунке 3.8. Для этого плана $x_{0110,q} = 5$; $x_{0118,q} = 2$; $x_{0118,0115} = 8$; $x_{0115,0116} = 8$.

Шаг 11. Определяем потенциалы вершин (аналогично шагу 5). Свой потенциал изменит вершина 0119. Результаты записываем в таблицу 3.13.

Шаг 12. Проверяем план на оптимальность. В таблицу 3.14 записываем звено 0110, 0116, которое не имеет корреспонденции, а звену 0110 присваиваем знак “–”, так как $x_{0110,q} = 5$. Проверку делаем для звеньев 0109, 0110; 0120, 0110; 0110, 0116; 0111, 0110. Результаты расчетов заносим в таблицу 3.14.

Максимальное из оставшихся нарушений находится на звене 0105, 0112. Улучшаем план с целью назначения корреспонденции на это звено.

Шаг 13. Улучшаем план. Строим замкнутый контур: 0105, 0112 – 0112, 0103 – 0103, 0102 – 0102, $q - q$, 0105 (уголщенные линии на рисунке 3.8). Величина улучшения плана $x_{ул} = \min(5, 1, 5) = 1$.

План прикрепления после его улучшения показан на рисунке 3.9.

Шаг 14. Определяем потенциалы вершин (аналогично шагу 5). Потенциалы изменились у вершин 0112, 0103 и связанной с ними базисным звеном вершины 0104. Результаты заносим в таблицу 3.13.

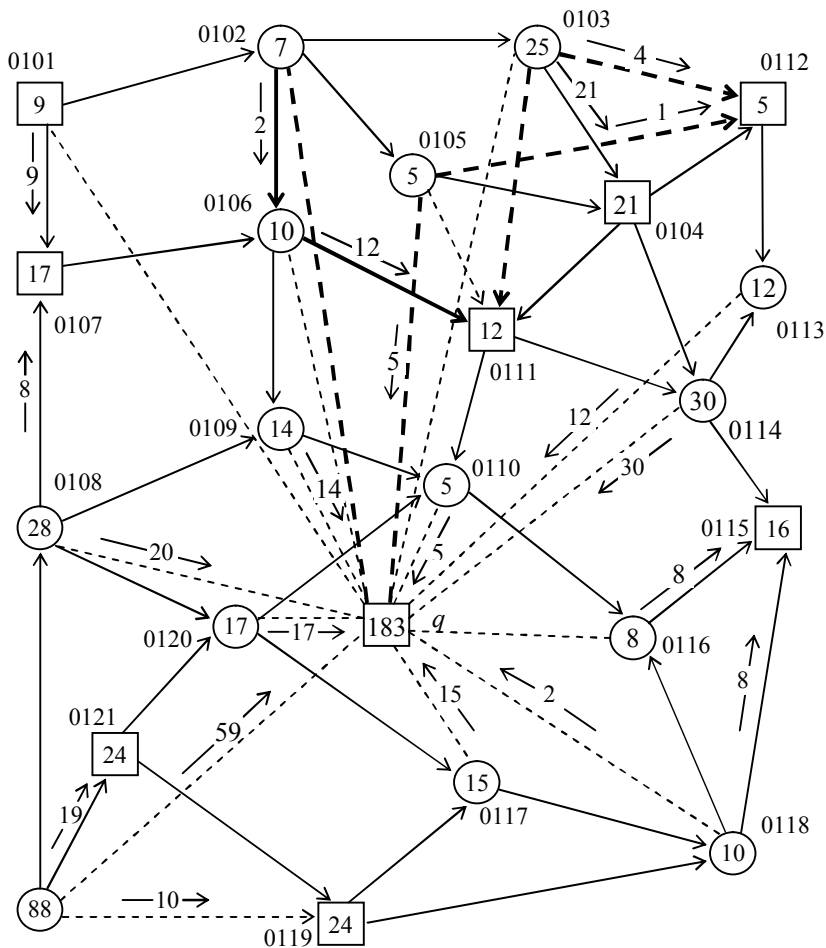


Рисунок 3.9 – III вариант улучшения плана

Шаг 17. Определяем потенциалы вершин (аналогично шагу 5). Они изменились для вершины 0106, 0111. Результаты расчета записываем в таблицу 3.13.

Шаг 18. Проверяем план на оптимальность (аналогично шагу 6). Звено 0103, 0111 стало базисным. В таблице 3.14 этому звену присваиваем знак “-“. Звено 0102, 0106 перешло в разряд небазисных. Следовательно, условие оптимальности (3.16) проверяем для звеньев 0102, 0106; 0106, q ; 0107, 0106; 0106, 0104; 0105, 0111; 0104, 0111; 0111, 0114; 0111, 0110.

Выполнение условия оптимальности по всем небазисным звеньям указывает на то, что получен оптимальный план прикрепления к депо пунктов отбора вагонов в ремонт, т. е. транспортные затраты на передачу вагонов, требующих ремонта, будут минимальными.

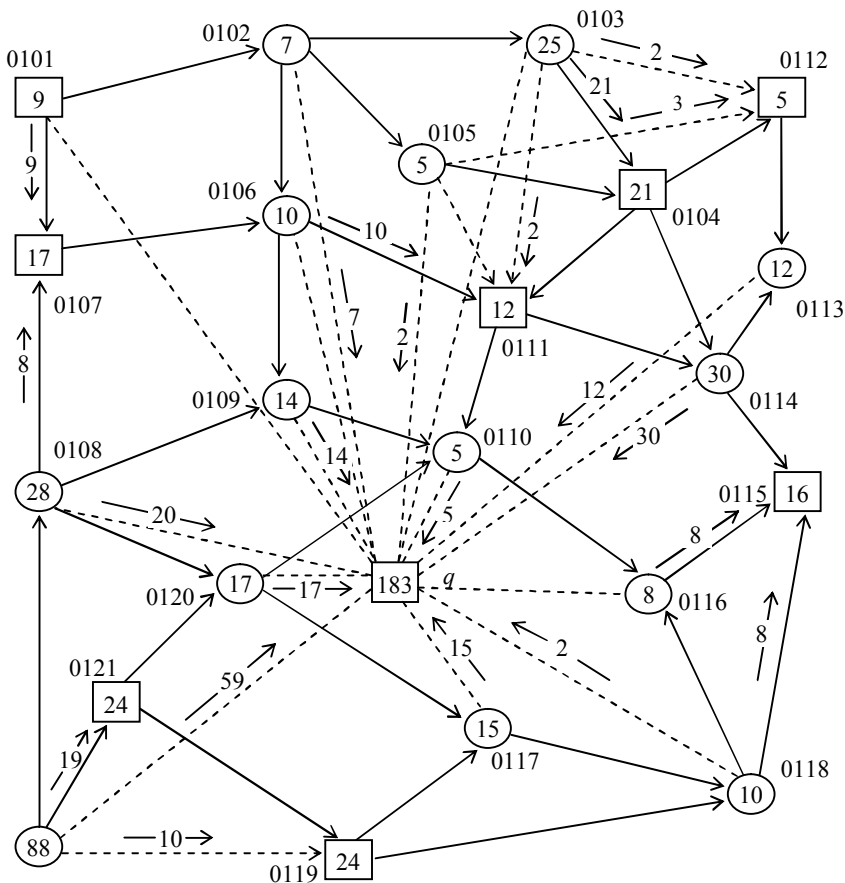


Рисунок 3.10 – Оптимальный вариант прикрепления к депо пунктов отбора вагонов в ремонт

Таким образом, решение поставленной задачи позволяет устранить отбор вагонов в ремонт из потока порожних, следующих по регулировочному заданию, и исключить подсылку объектов в ремонт против направления движения потока. Ликвидация этих недостатков и оптимальное прикрепление к депо пунктов отбора вагонов, требующих ремонта, позволит в целом по дороге улучшить ритмичность их работы и повысить экономическую эффективность вагоноремонтного производства.

3.2 Динамическое программирование при решении задач развития депо

В соответствии с постановлением СНК СССР от 3 июля 1933 г. вагонное хозяйство было выделено в самостоятельную отрасль транспорта и получило четкую организационную форму. Было установлено, что каждый вагонный участок должен иметь основное вагонное депо. Всего было создано 220 вагонных участков. К концу 1936 года имелись в распоряжении вагонного хозяйства 31 вагоноремонтный завод, 130 вагонных депо и 218 вагоноремонтных пунктов, которые в 1949 году приказом МПС были переименованы в вагонные депо.

В начале шестидесятых годов на сети железных дорог СССР происходит укрупнение средних, закрытие мелких и переустройство части локомотивных депо в вагоноремонтные. Анализ существующих депо показывает, что основу вагоноремонтной базы составляют бывшие ВРП. В 78 % депо длина сборочного участка составляет 60 м и менее, 41 % имеют в составе сборочного участка тележечный, 36 % депо не полностью используют производственные площади сборочных участков.

На техническое состояние подвижного состава в эксплуатации большое влияние оказывает качество выполнения плановых ремонтов. Темпы развития ремонтной базы отставали и продолжают отставать от темпов роста вагонного парка. Постоянно растет трудоемкость деповского ремонта. Уменьшению разрыва между потребностью в ремонтной базе и наличием ее способствовало введение новой периодичности плановых видов ремонта. Основной путь удовлетворения потребности парка вагонов в ремонте – развитие мощности базы как за счет строительства новых, так и реконструкции существующих депо.

Каждое существующее вагоноремонтное предприятие представляет собой индивидуальное сооружение, объемно-планировочное решение которого обуславливается рядом факторов: годом строительства депо, числом проведенных реконструкций, исторически сложившейся застройкой окружающей территории, технологией и принятым методом ремонта вагонов.

Несмотря на большое количество типоразмеров планировок существующих депо, можно наметить наиболее рациональные **пути их реконструкции и расширения:**

- 1) полное использование основных площадей сборочного участка и ремонтно-комплектовочных отделений и их технологическое перевооружение;
- 2) вынос тележечного участка из сборочного в отдельное помещение, приспособление старого тележечного участка под малярный или сборочный, подъем перекрытия тележечного участка (при необходимости);

3) достройка новых малярных отделений;

4) достройка новых или удлинение старых сборочных участков.

Для получения максимального эффекта от реконструкций существующих депо и строительства новых необходимо рассматривать их во взаимосвязи друг с другом, т. е. перейти к рассмотрению совокупности депо как системы.

3.2.1 Критерий оптимальности развития деповской вагоноремонтной базы

Задача размещения новых и реконструкции существующих депо на полигоне дорог имеет множество решений. Для признания одного из вариантов плана наилучшим по сравнению с другими должен быть установлен критерий оптимальности, на основе которого производят оценку сравниваемых вариантов. В качестве такого критерия целесообразно принять **приведенные расходы** $E_{пр}$, позволяющие в стоимостной форме учесть затраты по всем статьям.

Если все варианты характеризуются одноэтапными капитальными вложениями и переменными эксплуатационными расходами, изменяющимися во времени по линейному закону, то приведенные расходы на расширение ремонтной базы полигона дороги для каждого варианта можно определить по формуле

$$E_{пр} = \kappa E_n + c \rightarrow \min, \quad (3.20)$$

где κ – капитальные вложения; E_n – нормативный коэффициент эффективности; c – годовые эксплуатационные и транспортные расходы на рассматриваемом полигоне.

Преобразуем формулу (3.20):

$$E_{пр} = \kappa E_n + c_{пр} + c_c + E_{тр} \rightarrow \min, \quad (3.21)$$

где $c_{пр}$ – прирост годовых эксплуатационных расходов в проектируемом депо; c_c – годовые эксплуатационные расходы в существующих депо рассматриваемого полигона; $E_{тр}$ – годовые транспортные расходы, связанные с подсылкой всех отцепленных на ПТО вагонов во все депо полигона и их переработкой на станциях расположения ПТО и ВЧД.

Для любых сравниваемых вариантов значение c_c останется постоянным, поэтому его целесообразно исключить из критерия оптимальности. Разделим обе части равенства (3.21) на ΔN (прирост годовой программы ремонта вагонов в проектируемом депо) и обозначим $S_y = (E_{пр} - c_c) / \Delta N$. Тогда

$$S_y = \kappa E_n / \Delta N + c_{пр} / \Delta N + E_{тр} / \Delta N. \quad (3.22)$$

Основное преимущество вновь полученного критерия заключается в том, что отпала необходимость рассчитывать c_c в существующих депо полигона, за счет чего объем подготовительных работ сократится в среднем на 70 %.

Годовые эксплуатационные расходы в проектируемом депо $c_{пр}$ включают в себя приросты затрат:

- а) годовых по деповскому ремонту вагонов – E_b ;
- б) связанных с подъездом рабочих и служащих к месту работы и обратно – E_t ;
- в) по содержанию запаса вагонов, ожидающих ремонта, – E_z ;
- г) по переработке вагонов на станции расположения депо – E_d .

$$c_{пр} / \Delta N = (E_b + E_t) / \Delta N + E_z / \Delta N + E_d / \Delta N, \quad (3.23)$$

где $E_z / \Delta N = c_c$ – удельные затраты по содержанию запаса вагонов, ожидающих ремонта; $E_d / \Delta N = c_z$ – удельные затраты по переработке вагонов на станции расположения депо.

В случае строительства нового депо $E_b / \Delta N = c_b^H$ – себестоимость ремонта вагона; $E_t / \Delta N = c_t^H$ – удельная стоимость проезда рабочих и служащих к месту работы и обратно.

При реконструкции существующего депо

$$(E_b + E_t) / \Delta N = \kappa_H (c_b^H + c_t^H) - (\kappa_H - 1)(c_b^{CT} + c_t^{CT}). \quad (3.24)$$

В случае строительства нового депо для получения из равенства (3.24) значений E_b и E_t следует принять $c_b^{CT} = 0$ и $c_t^{CT} = 0$.

Удельные приведенные расходы, руб., связанные с деповским ремонтом грузовых вагонов, можно определить по формуле

$$S_y = \kappa_y + c_z + c_d + \kappa_H (c_b^H + c_t^H) - (\kappa_H - 1)(c_b^{CT} + c_t^{CT}) + c_t \kappa_H, \quad (3.25)$$

где $\kappa_y = \kappa E_H / \Delta N$ – удельные капитальные вложения на реконструкцию ремонтной базы полигона; $\kappa_H = N^H / \Delta N$ – коэффициент приведения эксплуатационных затрат в проектируемом депо; $c_t = E_{тр} / \Delta N$ – удельные транспортные расходы на подсылку одного вагона со всех ПТО во все депо на рассматриваемом полигоне и его переработку на станциях расположения ВЧД; $\kappa_H = N_{тр} / \Delta N$ – коэффициент приведения транспортных затрат на полигоне дороги к рассматриваемому варианту строительства; ΔN – прирост годовой программы ремонта вагонов в проектируемом депо; N^H – годовая программа ремонта вагонов в проектируемом депо после реконструкции; $\Sigma N^H = N^H$; N^H – годовая ремонтная мощность полигона после реконструкции.

В случае, если по одному из вариантов предусматривается осуществление капитальных вложений в несколько сроков (этапов усиления), а также при наличии одноэтапных вариантов, у которых зависимость эксплуатационных расходов от времени не может рассматриваться как линейная, сумма приведенных расходов

$$E_{\text{пр}} = \sum_0^{t_c} \frac{\kappa^{(t)}}{(1 + E_{\text{п}})^t} + \sum_1^{t_c} \frac{c^{(t)}}{(1 + E_{\text{п}})^t}, \quad (3.26)$$

где $\kappa^{(t)}$, $c^{(t)}$ – капитальные вложения, эксплуатационные и транспортные расходы на полигоне дороги в году t ; $1 / (1 + E_{\text{п}})^t$ – коэффициент приведения, учитывающий уменьшение значимости затрат, совершаемых через t лет; t_c – год, ограничивающий период суммирования расходов по рассматриваемым вариантам; $E_{\text{п}}$ – норматив для приведения разновременных затрат, установленный типовой методикой в размере 0,08.

В общую сумму затрат по формуле (3.26) включаются и первоначальные капитальные вложения (капитальные затраты первого этапа), условно относимые к нулевому году эксплуатации, то есть принимаемые к учету с коэффициентом приведения, равным 1. Проведя ряд преобразований, можно получить следующий **критерий оптимальности**:

$$S_y = \sum_0^{t_c} \frac{\kappa^{(t)}}{(1 + E_{\text{п}})^t \Delta N} + \sum_1^{t_c} \frac{c_{\text{пр}}^{(t)}}{(1 + E_{\text{п}})^t \Delta N} + \sum_1^{t_c} \frac{c_t^{(t)} \kappa_{\text{п}}}{(1 + E_{\text{п}})^t \Delta N}. \quad (3.27)$$

При равноценности сравниваемых вариантов по денежным показателям особое внимание должно уделяться натуральным показателям.

При анализе всех статей расходов, входящих в выражения (3.25) и (3.27), видно, что значения величин строительных расходов, стоимости запаса вагонов, расходов по перемещению рабочих и служащих к месту работы и обратно, переработке вагонов на станциях расположения депо и себестоимости ремонта вагона не зависят от плана подсылки объектов ремонта и являются характеристиками проектируемых депо и станций, на которых они расположены. В результате **задача по оптимальному размещению вагоноремонтной базы на полигоне дороги** расчленилась на две:

1) вычисление всех статей затрат, характеризующих местные условия строительства и эксплуатации рассматриваемых станций и проектируемых на них вагонных депо;

2) решение транспортной задачи по оптимальному прикреплению ПТО к депо для обеспечения последних объектами ремонта.

Вариант, дающий минимум суммы удельных приведенных затрат по формулам (3.25) или (3.27), будет оптимальным.

3.2.2 Анализ основных факторов критерия

Одной из основных составных частей удельных приведенных расходов является **себестоимость ремонта вагона** (c_B), определяемая по условию расположения депо и его программы ремонта. В себестоимость включаются амортизация основных фондов, стоимость топлива, запасных частей, материалов, воды, электроэнергии, тепла и заработная плата, а также часть средств, отчисляемых на социальное страхование.

$$c_B = D/N^{H(CT)} + A, \quad (3.28)$$

где D – сумма условно-постоянных затрат, руб.; $N^{H(CT)}$ – годовая программа ремонта вагонов; A – сумма условно-переменных затрат на единицу ремонта, руб.

Существенное уменьшение величины c_B при увеличении программы достигается за счет уменьшения удельной величины D . На значение условно-постоянных затрат прежде всего оказывает влияние сметная стоимость строительства. Сумма условно-переменных затрат изменяется прямо пропорционально производственной мощности депо, а их удельная величина A остается при этом неизменной.

Годовые расходы на ремонт вагонов включают в себя расходы по статьям, указанным в таблице 3.15.

Средняя себестоимость ремонта вагонов в депо, специализирующихся на ремонте одного типа грузовых вагонов,

$$c_B^{H(CT)} = (c_e + c_T + c_V + c_3 + c_{кр} + c_M + c_{рен}) / N^{H(CT)}. \quad (3.29)$$

Таблица 3.15 – Годовые расходы на ремонт вагонов

Наименование	Обозначение	Номера статей
Заработная плата с начислениями и накладные расходы	c_3	169, 241, 242, 243, 246, 248, 249, 254, 256, 269, 272, 273, 276, 280, 290, 291, 292
Стоимость материалов и запасных частей	c_M	169, 253, 254, 256
Стоимость отчислений на капитальный ремонт	$c_{кр}$	250, 254, 256, 264, 295
Стоимость реновационных отчислений на здания и оборудование	$c_{рен}$	251, 256, 263, 264, 295
Стоимость тепловой энергии	c_T	169, 253, 254, 256
Стоимость электрической энергии	c_e	169, 253, 254, 256
Стоимость воды	c_V	169, 253, 254, 256

Годовой фонд заработной платы (Y) рабочих и служащих вагонного депо зависит от численности различных категорий работников депо, тарифных месячных окладов и разного рода начислений (X). Для математического выражения связи между переменными X и Y служит уравнение общего вида $Y = f(X)$, где символом $f(X)$ обозначается подбираемая форма уравнения, более или менее полно выражающая функциональную зависимость средней величины одной переменной \bar{y}_X от значения другой переменной вели-

ны x . Такого рода математические уравнения называются корреляционными, или регрессионными. В нашем случае эмпирическая регрессия выражается простым уравнением линейной зависимости $\bar{y}_x = a + bx$. Здесь \bar{y}_x – групповая средняя арифметическая, или ожидаемое значение переменной Y , соответствующее заданному значению переменной X ; a и b – параметры уравнения. Для определения параметров a и b применяется система нормальных уравнений

$$\begin{cases} \sum y = an + b \sum x; \\ \sum xy = a \sum x + b \sum x^2. \end{cases} \quad (3.30)$$

Чтобы составить такую систему по n объему наблюдений, необходимо предварительно определить значения величин $\sum y$, $\sum x$, $\sum xy$, $\sum x^2$, $\sum y^2$, \bar{y} , \bar{x} , \bar{xy} для каждого типа вагонов.

Математическая статистика доказывает, что свободный член уравнения линейной функции $a = \bar{y} - b\bar{x}$ или соответственно $a = \bar{x} - b\bar{y}$, где

$$b_{y/x} = (\sum xy - n\bar{x}\bar{y}) / (\sum x^2 - n\bar{x}^2). \quad (3.31)$$

Вычисленные по этому уравнению групповые средние (\bar{y}_x), т. е. выровненный ряд регрессии фонда заработной платы (c_3) по программе ремонта вагонов (ΔN), хорошо согласуются с расчетными показателями.

Коэффициент корреляции, рассчитанный по формуле

$$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sqrt{(\sum x^2 - \frac{\sum x^2}{n})(\sum y^2 - \frac{\sum y^2}{n})}}, \quad (3.32)$$

принимает значение $r = 0,6143$.

Поскольку коэффициент корреляции характеризует только линейную связь, а корреляционное отношение – любую форму связи, то при строгой линейной зависимости между переменными c_p и ΔN корреляционное отношение и коэффициент корреляции должны быть равны ($\eta = r$). Следовательно, по разности между этими показателями можно судить о форме корреляционной зависимости между варьирующими признаками. В качестве показателя линейной связи используется разность

$$v = \eta^2 - r^2. \quad (3.33)$$

Выборочная ошибка этого показателя

$$m_v = 2\sqrt{v/n} \sqrt{(1-\eta^2) - (1-r^2) + 1}. \quad (3.34)$$

Находим величину квадрата корреляционного отношения c_3 по N :

$$\eta^2 = \sum(\bar{y}_x - \bar{y})^2 / \sum(y_i - \bar{y})^2; \eta^2 = 0,3776. \quad (3.35)$$

Определяем меру линейности: $v = 0,3776 - 0,3774 = 0,0002$. При этом ее ошибка составит $m_v = 0,0085$.

Критерием достоверности показателя v служит его отношение к своей ошибке: $t_v = v/m_v$. При $t \leq 2,5$ корреляция между признаками является прямойлинейной: $t_v = 0,0235 < 2,5$. Это значит, что связь между фондом заработной платы работников депо и программой ремонта вагонов практически можно считать линейной. Аналогично устанавливается такая связь для остальных пяти типов ремонтируемых вагонов.

Результаты расчетов параметров a и b сведены в таблицу 3.16. Следует заметить, что полученное уравнение для фонда заработной платы $y = a + bx$ имеет смысл при значениях $\Delta N \geq 2500$ вагонов, что соответствует минимальным программам ремонта в существующих депо.

Подобным образом была установлена линейная зависимость между потреблением электроэнергии, воды, тепла и годовой программой ремонта вагонов для главного корпуса вагонного депо. Для других зданий и сооружений такая зависимость отсутствует. Следовательно, при разделении годовых затрат на условно-постоянные и условно-переменные к первым надо отнести годовые затраты на электроэнергию, воду и тепло для всех сооружений, кроме, главного корпуса вагонного депо, а также затраты на капитальный ремонт и реновацию всего комплекса депо, ко вторым – годовые затраты на электроэнергию, воду и тепло (рисунок 3.11).

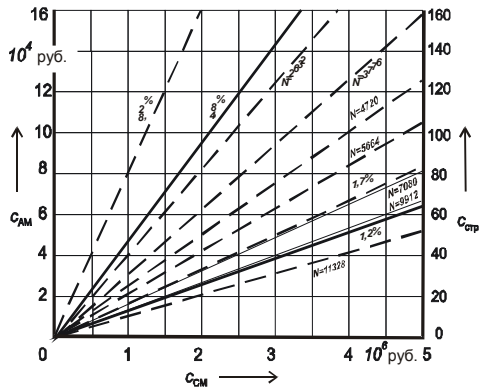


Рисунок 3.11 – Графики изменения эксплуатационных затрат

Содержание технических проектов вагонных депо по ремонту грузовых вагонов показало, что статьи затрат в себестоимости депо ремонта вагона распределяются в соответствии с таблицей 3.16.

Из таблицы видно, что основную долю в общей стоимости ремонта вагона составляют фонд заработной платы, стоимость материалов и запасных частей, относящихся к условно-переменным затратам (72–83 %).

Поэтому снижение общей стоимости депо ремонта вагонов возможно путем уменьшения сметной стоимости строительства и размещения

проектируемых депо в территориальных районах с низкой стоимостью материальных ресурсов (материалов, электроэнергии, тепла, воды и фонда заработной платы). Так как рассматриваемый полигон обычно находится в одном территориальном районе, то, очевидно, что снижение общей стоимости ремонта вагона в проектируемом депо зависит только от сметной стоимости строительства, точнее, от стоимости слома и восстановления попадающих под снос зданий и сооружений, стоимости внеплощадочных инженерных сетей, специальных строительных работ по устройству фундаментов зданий и сооружений и других мероприятий, требующих обязательного выполнения по техническим условиям на проектирование депо.

Таблица 3.16 – Удельный вес статей затрат в себестоимости ремонта вагона

Наименование основных статей расходов	Удельный вес затрат по зданиям, %	
	главный корпус вагонного депо	другие здания и сооружения
Фонд заработной платы	30–45	
Материалы и запасные части	37–44	
Амортизационные отчисления*	7–13,5	
Электроэнергия:		
а) силовое электрооборудование	2,3–7,0	0,2–0,65
б) освещение	0,15–0,6	0,10–0,25
Вода:		
а) производственное водоснабжение	1,5–2,2	0,09–0,10
б) хозяйственно-питьевое водоснабжение	0,35–0,45	Учтено в главном корпусе
Тепло:		
а) отопление	0,9–1,7	0,25–0,55
б) вентиляция	0,35–0,7	0,3–0,5
в) горячее водоснабжение	0,12–0,14	Учтено в главном корпусе
г) производственное пароснабжение	1,5–1,8	

* Амортизационные отчисления рассчитывались по номограммам (см. рисунок 2.1).

Исследования зависимости себестоимости ремонта вагона от величины годовой программы новых депо позволяют сделать следующие выводы:

- 1) зависимость $c_b = f(N^H)$ имеет пилообразный вид;
- 2) критические точки N_i^{KP} на кривой $c_b = f(N^H)$ всегда характеризуются минимальной себестоимостью ремонта единицы продукции в заданном интервале программы $N_i^{KP} \dots N_{i-1}^{KP}$;
- 3) при определении конкретных значений программ для депо они должны быть равны критическим;
- 4) шаг критических точек вдоль оси N^H является величиной постоянной для определенной конфигурации депо;
- 5) величина скачка функции $c_b = f(N^H)$ зависит от величины амортизационных отчислений, вызванных достройкой главного корпуса депо, и изменений параметров других зданий и сооружений (например, вместимость бытового корпуса увеличилась с 300 до 500 человек);

б) назначение программ, соответствующих критическим точкам, позволяет снизить себестоимость ремонта без дополнительных капитальных вложений (рисунок 3.12).

Для обеспечения ритмичности работы грузовых депо, интенсификации использования производственных мощностей необходимо иметь в депо определенный запас объектов ремонта. Оптимальным будет такой запас вагонов, при котором достигается минимум расходов на его содержание и потерь от неполного использования основных фондов при нехватке объектов ремонта. Расходы по содержанию запаса неисправных вагонов на тракционных путях депо можно приравнять к расходам простоя порожних грузовых вагонов на станции и определять по формуле

$$c_z = t_n (c_{вч} + \kappa_n \Delta c_{вч} o) \kappa_{зап}, \quad (3.36)$$

где t_n – среднее время простоя вагонов под накоплением; $c_{вч}$ – укрупненная норма расходов на вагоно-час, включающая расходы по содержанию маневрового локомотива; $\Delta c_{вч}$ – поправка на один вагоно-осе-час; κ_n – коэффициент перехода к инвентарному парку вагонов; o – осьность вагона; $\kappa_{зап}$ – коэффициент суточного запаса вагонов в депо.

Так как все величины, кроме t_n и $\kappa_{зап}$, входящие в формулу (3.36), постоянны, то стоимость удельных расходов по содержанию запаса вагонов в ожидании ремонта зависит только от коэффициента запаса и соответствующего ему среднего времени простоя (рисунок 3.13):

$$c_z = c_z(\kappa_{зап}; t_n). \quad (3.37)$$

Специализация депо на ремонте одного типа вагонов зачастую приводит к необходимости подсылки объектов ремонта в проектируемое депо с других станций. В этом случае возникают расходы, вызванные переработкой вагонов на станции, где неисправный вагон отцепляют для подсылки, передачей объектов ремонта с одной станции на другую, переработкой вагонов на станции расположения вагонного депо и подачей грузовых вагонов на тракционные пути депо (транспортными расходами, связанными с подачей неисправных вагонов на тракционные пути депо, ввиду

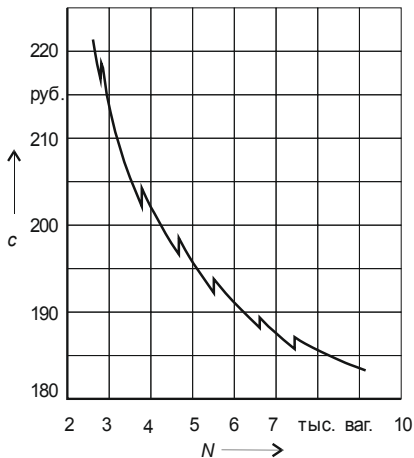


Рисунок 3.12 – Зависимость изменения себестоимости ремонта от его программы

их малости можно пренебречь). Первые два типа затрат зависят от плана подсылки вагонов и входят в состав транспортных расходов

Расходы на переработку неисправных вагонов на станциях расположения ПТО и депо идентичны и складываются из расходов на маневровую работу и по простоям подвижного состава. В системе групповых норм **удельные расходы на маневровую работу** с учетом приведенных капиталовложений в маневровые локомотивы

$$c_{\text{ман}} = \sum_{k=1}^p \frac{[M_k (c_k^{\text{MC}} + 24c_k^{\text{KB}}) + t_p (c_k^{\text{MЧ}} + c_k^{\text{МП}})] T}{\Gamma}, \quad (3.38)$$

где M_k – число маневровых локомотивов k -го типа в данном районе станции; c_k^{MC} – норма расходов по содержанию в течение суток одного ло-

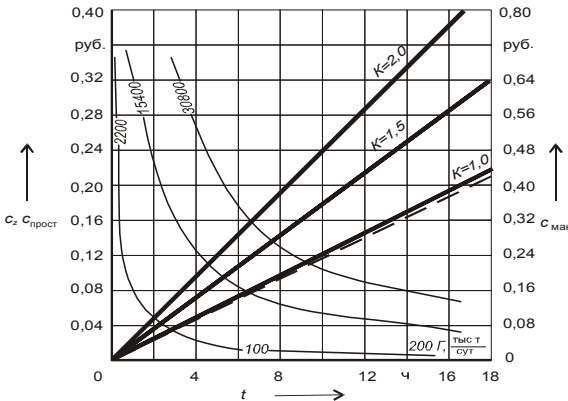


Рисунок 3.13 – Номограмма для определения удельных затрат по простоям вагонов и маневровой работе:

- — — время накопления вагонов в депо;
- — — время накопления вагонов на станции;
- - - маневровая работа

вом; T – тара вагона; Γ – суточный грузооборот станции в тоннах брутто; p – число типов маневровых локомотивов, участвующих в переработке составов.

Расходы по простоям одного неисправного вагона на станции с учетом капитальных вложений в подвижной состав с большой степенью точности можно определить по формуле

$$c_{\text{пр}} = t_{\text{ст}} (c_{\text{вч}} + \kappa_{\text{н}} \Delta c_{\text{вч}}), \quad (3.39)$$

где $t_{\text{ст}}$ – время нахождения неисправного вагона на станции.

комотива

k -го типа; c_k^{KB} – приведенные капиталовложения на один час содержания маневрового локомотива k -го типа; $c_k^{\text{MЧ}}$ – расходная норма на час маневровой работы k -го локомотива (энергетическая часть расходов); $c_k^{\text{МП}}$ – норма расходов на 1 час маневровой работы по перестановке составов; t_p – количество часов выполнения работы в данном маневровом районе k -м локомотива

Следовательно, **расходы на переработку одного неисправного вагона** на станциях расположения ПТО и депо в общем виде можно записать так:

$$c_{\text{н}} = \sum_{\kappa=1}^p \frac{[M_{\kappa}(c_{\kappa}^{\text{MC}} + 24c_{\kappa}^{\text{KB}}) + (c_{\kappa}^{\text{MЧ}} + c_{\kappa}^{\text{МП}})]T}{\Gamma} + t_{\text{СТ}}(c_{\text{ВЧ}} + \kappa_{\text{И}}\Delta c_{\text{ВЧ}}o). \quad (3.40)$$

Если вагоны для ремонта отцепляются на станции расположения депо, то в этом случае расходы связаны только с переработкой вагонов, требующих ремонта, на данной станции, что снижает удельные приведенные расходы. Очевидно, что самым желательным является вариант расположения депо на станциях, которые полностью могут обеспечить проектируемое депо объектами ремонта. Однако подобные случаи в практике встречаются крайне редко. В соответствии со способом приведенных длин **расходы по подсылке одного неисправного вагона** с любого ПТО в любое депо с учетом разгонов и торможений в пути следования, остановок на промежуточных станциях и капитальных вложений в подвижной состав предлагается определять по формуле

$$c_{\text{п}} = c_{\text{пв}}\kappa_{\text{рт}}\kappa_{\text{о}}\kappa_{\text{кв}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Z_{ij}^{\text{пп}}, \quad (3.41)$$

где $c_{\text{пв}}$ – стоимость подсылки одного порожнего вагона на расстояние, равное 1 км; $\kappa_{\text{рт}}$, $\kappa_{\text{о}}$, $\kappa_{\text{кв}}$ – коэффициенты, учитывающие стоимость соответственно разгонов и торможений вагонов на отдельных блок-участках; простоев поездов на промежуточных раздельных пунктах и станциях; подвижного состава; $Z_{ij}^{\text{пп}}$ – приведенная длина перегона между i -м ПТО и j -м депо,

$$Z_{ij}^{\text{пп}} = Z_{ij} + \left(\sum H_{\kappa}^{\text{BP}} \right) / h_{\text{экв}}; \quad (3.42)$$

$\sum H_{\kappa}^{\text{BP}}$ – сумма преодолеваемых «вредных» высот (спусков, круче предельно безвредного), м. Определяется ориентировочно по отметкам характерных точек профиля; $h_{\text{экв}}$ – высота, м/км, уклонов, круче предельно безвредного, преодоление которых по своей стоимости эквивалентно расходам на пробег поездом 1 км площади.

Расходы, связанные с подсылкой одного неисправного вагона в депо, прямо пропорциональны приведенной длине перегона (рисунок 3.14) и зависят через $c_{\text{пв}}$ от средней массы поезда, в котором подсылаются объекты ремонта, и серии локомотива для каждого участка железнодорожной линии:

$$c_{\text{п}} = c_{\text{п}}(c_{\text{пв}}; Z_{ij}^{\text{пп}}) \quad (3.43)$$

При расположении новых вагонных депо на полигоне дороги следует учитывать **наличие** вблизи **рабочей силы**. Этот фактор играет решающую роль в окончательном выборе площадки для строительства депо, так как он прямо либо косвенно приводит к увеличению удельных приведенных затрат. Возможны два варианта решения данной проблемы:

1 Предусмотреть в составе проекта строительство жилых, коммунальных, культурно-бытовых и других объектов для создания нормальных условий жизни семьям рабочих и служащих вагонного депо, а также учесть в сметной стоимости строительства затраты на перебазирование их в район нового места жительства. Обычно перебазирование семей рабочих и служащих производится в случае значительного удаления вагонного депо от населенного пункта.

2 Учесть в удельных приведенных затратах стоимость потерянного личного времени рабочих и служащих, связанного с переездами к месту работы и обратно, а также оплату льготных проездных билетов в пригородных поездах или автобусах. В нормативной литературе предложено при определении стоимости 1 пассажиро-часа исходить из величины национального дохода, производимого за 1 чел · ч в расчете на все население страны. Следовательно, затраты личного времени на проезд в пригородном поезде или автобусе к месту работы и обратно с учетом стоимости проезда

$$c_l = (2F_d / N^{H(CT)}) [n_n (t_n e_{np} + c_n) + n_a (t_a e_{np} + c_a)], \quad (3.44)$$

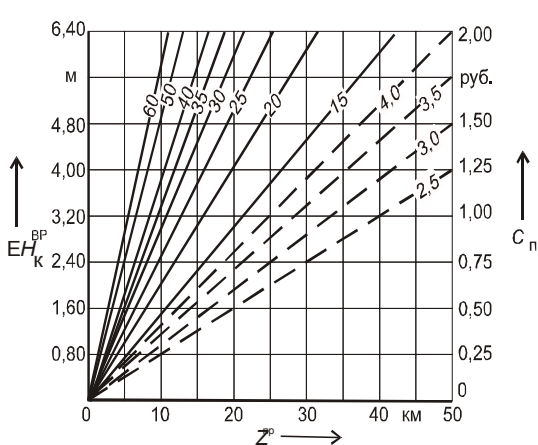


Рисунок 3.14 – Номограмма для определения удельных затрат по подсылке вагонов:

- — — эквивалентная длина;
- — — стоимость подсылки вагона

где F_d – число рабочих дней в году; n_n , n_a – число рабочих и служащих, соответственно приезжающих пригородными поездами и автобусами; c_n , c_a – средняя стоимость проезда в один конец соответственно в поезде и автобусе, руб.; t_n , t_a – среднее время проезда от населенного пункта до депо соответственно в автобусе и в пригородном поезде; e_{np} – стоимость одного пассажиро-часа, руб.

Расчеты показывают, что c_n , t_n , c_a , t_a зависят только от дальности поездки. Поэтому были построены номограммы для определения удельных затрат, связанных с проездом рабочих и служащих на работу и обратно, в зависимости от программы ремонта, количества приезжающих на работу людей и дальности поездки.

3.2.3 Рациональное обеспечение депо объектами ремонта

Оптимальный выбор площадки для строительства нового и реконструкции существующего вагонного депо зависит не только от вышеперечисленных факторов, но и от стоимости подсылки неисправных вагонов и их переработки на станциях расположения ВЧД. Указанная задача относится к важному классу задач перспективного размещения строящихся предприятий. Для ее решения весьма эффективно использовать методы математического программирования. **Экономико-математическая формулировка данной задачи** состоит в следующем.

На полигоне железной дороги имеются депо с номерами $1, \dots, n$ и пункты технического осмотра с номерами $1, \dots, m$, на которых возможен отбор вагонов в ремонт. ПТО и депо, расположенные на одной станции, для удобства обозначим одним и тем же номером. Заданы суточные ремонтные программы каждого депо b_j и поставки объектов ремонта с каждого ПТО a_i . Среднесуточное количество подсылаемых вагонов с i -го ПТО в j -е депо обозначим через x_{ij} . Требуется составить такой план подсылки вагонов, чтобы общая сумма затрат на их транспортировку и переработку была минимальной.

При размещении вагонного депо и ПТО на одной и той же станции возможны следующие варианты:

1) ПТО в состоянии полностью обеспечить вагонное депо объектами ремонта ($a_i > b_j$). В этом случае суточная потребность ремонта вагонного депо принимается равной нулю, а максимальное количество неисправных вагонов уменьшается на величину суточной программы ремонта $a_i = a_i - b_j$;

2) пункт технического обслуживания не в состоянии полностью удовлетворить суточную потребность в ремонте депо ($a_i < b_j$). Тогда a_i принимается равной нулю, а новая суточная потребность депо в ремонте $b_j = b_j - a_i$.

На основании вышеописанного можно заключить, что в пределах одной станции подсылка неисправных вагонов из ПТО в депо равна нулю. Очевидно, что условие оптимального плана подсылки вагонов –

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{ij}^p + c_{ij}^n) x_{ij} = \min; \quad (3.45)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i; \quad (3.46)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j; \quad (3.47)$$

$$a_i, b_j, x_{ij} - \text{целые положительные числа,} \quad (3.48)$$

где c_{ij}^p – стоимость переработки одного вагона в i -м ПТО в направлении j -го депо; c_{ij}^n – затраты на подсылку одного вагона с i -го ПТО в j -е депо.

Максимальное количество неисправных вагонов, которое можно отобрать в ремонт, определяется путем умножения вероятности на общее количество порожних вагонов определенного типа, проходящих станцию с переработкой. Порожние вагоны, из которых производится отбор объектов в ремонт, поступают, как правило, тремя потоками: в сборных и участковых поездах; в порожних маршрутах и вывозных поездах, проходящих переработку; из-под выгрузки.

Так как сборных и участковых поездов в узле обычно немного и количество порожних вагонов в них незначительно, для облегчения решения задачи первым источником поступления неисправных вагонов можно пренебречь. Маршруты порожних вагонов и вывозные поезда, перерабатываемые сразу на нескольких станциях, являются основной причиной двойного учета объектов ремонта по двум рассматриваемым станциям.

Следовательно, для устранения повторений числа неисправных вагонов на каждую пару станций расположения ПТО необходимо дополнительно ввести ограничение

$$x_{ej} + x_{kj} \leq a_e + a_k - r_{ек}, \quad (3.49)$$

где $r_{ек}$ – количество объектов ремонта, повторяющихся по двум смежным станциям.

Общее количество указанных ограничений не должно превышать $0,5mn(m-1)$.

Для сведения данной задачи к общей задаче линейного программирования необходимо выполнить *переиндексацию коэффициентов и переменных уравнений и неравенств*:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } i=j \\ \text{при } i>j \\ \text{при } n \geq i>j \\ \text{при } i>n \end{array} \right\} \begin{array}{l} \kappa = 0; \\ \kappa = (n-1)(i-1) + j - 1; \\ \kappa = (n-1)(i-1) + j; \\ \kappa = (i-2)n + j, \end{array} \quad (3.50)$$

где κ – новый однозначный индекс.

Таким образом, решаемая транспортная задача по оптимальному прикреплению ПТО к депо для обеспечения последних объектами ремонта свелась к общей задаче линейного программирования с общим числом уравнений, равным n , неравенств не более $[1 + 0,5n(m-1)]m$ и целевой функцией

$$\min F = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_k x_k + \dots + c_s x_s. \quad (3.51)$$

Указанную задачу для небольших полигонов дороги целесообразно решать *симплекс-методом* или *методом случайного поиска*, используя для этой цели стандартные программы. Для больших полигонов дороги рекомендуется применять метод решения транспортной задачи в *сетевой форме*. При решении этой задачи на ЭВМ следует использовать полностью целочисленные алгоритмы, а при отсутствии таких программ на вычислительном центре – алгоритмы, не использующие операцию деления.

Если подсылка объектов ремонта с некоторых ПТО в какие-то депо нерациональна или нежелательна, то соответствующие коэффициенты целевой функции нужно задать какими-нибудь очень большими числами, например 10 000. Остальные коэффициенты определяются по формулам (3.40) и (3.41).

Бывают случаи, когда можно изменить часть полученной матрицы поставок без значительного увеличения целевой функции для учета ряда натуральных показателей, не поддающихся денежному выражению.

При решении транспортной задачи на ЭВМ не учитывались условия ограничения пропускной способности участков полигона, так как неисправные вагоны подсылаются в местных поездах, имеющих, как правило, резервы массы и длины. Назначение специальных вывозных поездов, состоящих только из неисправных вагонов, нерационально, так как такой состав должен иметь ограниченную скорость движения, что выводит из графика другие поезда. Поэтому фактор ограничения пропускной способности участков полигона целесообразно учитывать в виде натурального показателя.

3.2.4 Зависимость изменения капитальных вложений от величины программы ремонта

Одной из самых важных составных частей критерия оптимальности, которая в значительной мере влияет на снижение удельных приведенных расходов, являются капитальные вложения в развитие депо. Для их приведения к одному рассматриваемому году сметная стоимость вагонного депо умножается на нормативный коэффициент эффективности E_n .

Как уже указывалось выше, **сметная стоимость строительства** зависит от рельефа местности, геологического строения и степени застройки выделенной для строительства депо площадки, технических условий на подключение к инженерным сетям и выполнения целого ряда специальных мероприятий. Сметная стоимость депо по ремонту грузовых вагонов во многом зависит и от прироста программы ремонта при расширении действующих депо.

Рассмотрим график (рисунок 3.15), на котором показаны результаты значений переменных y – стоимости капитальных вложений (K в условных денежных единицах) от x – величины прироста программы в рассматриваемом

мых депо. Через область, занимаемую точками на графике, проведена прямая $y = a + bx$. Отклонение (возмущение) какой-либо точки с координатами x_i, y_i

$$e_i = y_i - \hat{y} = y_i - (a + bx_i), \quad (3.52)$$

где y_i – фактическое, а \hat{y} – расчетное значения зависимой переменной y .

Величина e_i есть функция параметров a и b . Точно так же функцией этих параметров является обобщенный показатель рассеяния точек вокруг прямой $\sum e_i^2 = f(a, b)$. Стремление найти прямую, которая наилучшим образом описывала бы расположение точек в пространстве переменных y и x , трансформируется в методе наименьших квадратов в критерий, согласно которому параметры a и b должны быть подобраны так, чтобы $\sum e_i^2 = \min$.

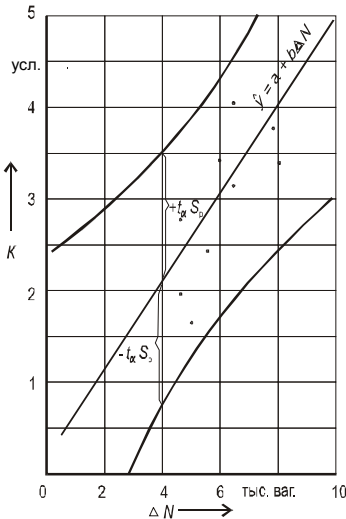


Рисунок 3.15 – Доверительные интервалы линейной зависимости капиталных вложений от программы ремонта

Необходимым условием существования минимума функции в точках a и b является равенство нулю частных производных по неизвестным параметрам a и b . Итак, найдем для функции

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad (3.53)$$

частные производные и приравняем их к нулю:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial a} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0; \\ \frac{\partial Q}{\partial b} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)x_i = 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.54)$$

Преобразовав систему (3.54), получим стандартную форму нормальных уравнений

$$\sum_{i=1}^n y_i = na + b \sum_{i=1}^n x_i; \quad \sum_{i=1}^n x_i y_i = a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2. \quad (3.55)$$

Аналогично изложенному в п. 3.2.2 найдем параметры a , b и коэффициент корреляции r , воспользовавшись данными таблицы 2.5: $b = 0,47935$; $a = 231,93$; $r = 0,8477$.

Для проверки, насколько r существенно отличается от нуля при небольшом числе наблюдений, применяют формулу

$$t = r\sqrt{n-2} / \sqrt{1-r^2}. \quad (3.56)$$

Величина t здесь следует t -распределению Стьюдента, поэтому найденное по формуле (3.56) значение t можно сопоставить с табличным значением t_α при $n-2$ степеням свободы. В нашем примере $t = 5,535$, в то же время $t_\alpha = 2,179$ при $p = 0,95$. Следовательно, данный коэффициент существенно отличается от нуля, чего, впрочем, и следовало ожидать, так как при значениях r , близких к единице, эта характеристика обычно существенна.

Выше была проведена оценка параметров регрессии, на основе которых находятся все расчетные значения численного ряда. Естественно полагать, что действительные значения зависимой переменной не будут совпадать с расчетными, так как сама линия регрессии описывает взаимосвязь лишь в среднем. Отдельные наблюдения рассеяны вокруг нее. В качестве меры рассеяния принята дисперсия. Значение величины $\sum b_i^2$ дает возможность оценить дисперсию по формуле

$$S^2 = \left[\sum (y'_i)^2 - b \sum x'_i y'_i \right] / (n-2), \quad (3.57)$$

где $x'_i = x_i - \bar{x}$, а $y'_i = y_i - \bar{y}$.

Величина S^2 является выборочной оценкой дисперсии случайных членов, содержащихся в теоретической модели парной регрессии.

Выполним теперь расчеты доверительных границ, в пределах которых с заданной доверительной вероятностью будет находиться значение y . Зная дисперсию показателя \hat{y} , легко определить доверительные границы для нее по формуле

$$\hat{y} \pm t_\alpha S_p, \quad (3.58)$$

где t_α – статистика Стьюдента;

$$S_p = \sqrt{S^2 \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(x'_p)^2}{\sum (x'_i)^2} \right)} - \quad (3.59)$$

суммарная дисперсия, соответствует уравнению регрессии

$$y_i = a + bx_i + e_i.$$

Доверительные интервалы для прогнозов индивидуальных значений y_i в нашем примере будут построены на основании расчетов, приведенных в таблице 3.17, при значениях:

$$\mathcal{F} = a + bx_i; \quad (3.60)$$

$$\sum e_i^2 = \sum y_i^2 - n\bar{y}^2 - b(\sum x_i - y_i - n\bar{x}\bar{y}); \quad (3.61)$$

$$S = \sqrt{(\sum e_i^2)/(n-2)}. \quad (3.62)$$

Построенный на рисунке 3.15 доверительный интервал оказался очень большим, так как величина отклонений $t_\alpha S_p$, прогнозов индивидуальных значений y_i составляет 30–150 % от расчетных значений \hat{y} . Такой разброс в прогнозах, безусловно, недопустим.

Следовательно, нельзя аппроксимировать связь капитальных вложений и величины программы ремонта линейной зависимостью, так как первые зависят от ряда субъективных факторов:

1) стесненности и рельефа местности площадки, выбранной для строительства;

2) геологических особенностей и климата района строительства;

3) протяженности инженерных сетей по техническим условиям на проектирование;

4) кооперирования и долевого участия в строительстве инженерных сооружений;

5) мероприятий, выполняемых по требованию специальных служб города и штаба гражданской обороны, которые в значительной степени изменяют сметную стоимость строительства.

Таблица 3.17 – Результаты расчетов доверительных интервалов

В условных денежных единицах

x_i	$x'_p = x_i - \bar{x}$,	S_p	\mathcal{F}	$y_p = \mathcal{F} \pm t_\alpha S_p$
2 000	– 4 814,29	806,25	1 190,63	1 190,63 ± 1 756,80
3 000	– 3 814,29	765,05	1 669,98	1 669,98 ± 1 667,04
4 000	– 2 814,29	731,83	2 149,33	2 149,33 ± 1 594,66
5 000	– 1 814,29	707,71	2 628,68	2 628,68 ± 1 542,10
6 000	– 814,29	693,64	3 108,03	3 108,03 ± 1 511,44
7 000	185,71	690,22	3 587,38	3 587,38 ± 1 503,99
8 000	1 185,71	697,64	4 066,73	4 066,73 ± 1 520,15
9 000	2 185,71	715,54	4 546,08	4 546,08 ± 1 599,16
10 000	3 185,71	743,17	5 025,43	5 025,43 ± 1 619,58
11 000	4 185,71	779,49	5 504,78	5 504,78 ± 1 698,51

3.2.5 Методика расчета оптимального развития деповской вагоноремонтной базы на полигоне железных дорог

Современное состояние грузового парка вызывает необходимость дальнейшего планомерного усиления вагоноремонтной базы за счет более полного использования основных производственных фондов, реконструкции существующих вагонных депо. Капитальные вложения на реконструкцию депо и эксплуатационные затраты на их содержание существенно зависят от рационального размещения вагоноремонтных предприятий, методов их реконструкции и местных особенностей. Указанная задача по оптимальному развитию деповской вагоноремонтной базы, рассмотренная в предыдущих разделах, была нами отнесена к классу производственно-транспортных, но из-за малости транспортных затрат по подсылке вагонов в депо для ремонта была упрощена. Из-за отсутствия функциональной связи между капитальными вложениями на строительство депо и программой его ремонта применить методы линейного программирования для решения данной задачи не представилось возможным. Поэтому для выбора оптимального варианта развития базы по ремонту грузовых вагонов был использован **метод динамического программирования**, сущность которого заключается в следующем.

На рассматриваемом полигоне имеется n вагонных депо, которые в дальнейшем будем называть системой. Каждое вагонное депо имеет начальное состояние, характеризующееся величиной производственной программы $N_1^0, N_2^0, N_3^0, \dots, N_n^0$, а также соответствующими этой программе капитальными вложениями $\kappa_1^0, \kappa_2^0, \kappa_3^0, \dots, \kappa_n^0$ и эксплуатационными затратами $c_1^0, c_2^0, c_3^0, \dots, c_n^0$. Все вагонные депо имеют несколько возможных вариантов развития (методика оценки и выбора различных вариантов реконструкции депо приведена в методических указаниях). Отдельные варианты реконструкции характеризуются тремя векторами состояния: ΔN_{ij} – программа ремонта вагонов, которая дополнительно может быть реализована в i -м депо при j -м варианте развития; κ – капитальные вложения, затраченные на реализацию в i -м депо j -го варианта реконструкции; c_{ij} – дополнительные эксплуатационные затраты в i -м депо после осуществления j -го варианта развития. В свою очередь каждое из депо обладает каким-то конечным состоянием (максимально возможной дополнительной программой): $\Delta N_1^k, \Delta N_2^k, \Delta N_3^k, \dots, \Delta N_n^k$.

В качестве исходных данных при решении задачи могут налагаться следующие ограничения (условия):

1 На полигоне необходимо реализовать дополнительную программу в объеме ΔN .

2 На развитие системы (совокупности депо) выделяется ограниченный объем капитальных вложений κ .

При выполнении первого ограничения решение задачи заключается в распределении величины дополнительной программы ΔN между депо при условии минимизации суммарных приведенных затрат, потребных на развитие базы:

$$E = \min \sum_{i=1}^n E_i; \quad (3.63)$$

$$\Delta N \leq \Delta N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3 + \dots + \Delta N_n; \quad (3.64)$$

$$\forall \Delta N_i \geq 0; \quad \forall \Delta N_i - \text{целое число}, \quad (3.65)$$

где E – суммарные приведенные расходы, потребные на развитие системы; n – количество депо, расположенных на заданном полигоне и выполняющих ремонт данного типа вагонов; E_i – суммарные приведенные расходы на развитие i -го депо.

Условие (3.64) указывает на то, что сумма дополнительных программ, которые могут быть реализованы в депо на данном полигоне, должна быть равной заданной либо быть больше ее.

При решении задачи с учетом второго ограничения становится очевидным, что получить оптимальный вариант развития вагоноремонтной базы на заданном полигоне можно не всегда, так как суммарные приведенные затраты $E^{\text{оп}}$, потребные на развитие системы при ограниченном сметном лимите, могут оказаться меньше суммарных приведенных затрат $E^{\text{опт}}$ при развитии системы до оптимального уровня без ограничения капитальных вложений.

В связи с тем, что объем ассигнований, выделяемых на развитие деповской базы, не всегда позволяет реализовать оптимальный вариант, капитальные вложения на реконструкцию должны быть распределены между теми депо, которые дадут максимальный эффект от развития базы. Другими словами, максимум может получиться относительным, а не абсолютным:

$$\Delta N = \max \sum_{i=1}^n \Delta N_i \quad (3.66)$$

при условиях

$$\kappa \geq \kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3 + \dots + \kappa_n; \quad (3.67)$$

$$\forall \Delta N_i \geq 0; \quad \forall \Delta N_i - \text{целое}; \quad \forall \kappa_i \geq 0. \quad (3.68)$$

Ранее было показано, что параметры ΔN и κ не имеют функциональной зависимости, так как реализация одних и тех же программ ремонта ΔN в разных депо требует различных по величине капитальных вложений κ . Следовательно, исходная информация может быть задана набором пар чисел $(E_{ij}; \Delta N_{ij})$, т. е. определенному значению прироста программы ΔN_{ij} в i -м депо при j -м варианте соответствует определенное значение приведенных расходов $E_{ij} = E_{n\kappa ij} + c_{ij}$. Кроме того, необходимо, чтобы переменные были целыми числами. В связи с тем, что решить данную задачу методами линейного программирования не представляется возможным, используем метод динамического программирования. Этот метод применяется в таких ситуациях, когда для максимизации (минимизации) критерия качества (3.63) и (3.67) системы необходимо многократно выбирать управления. Причем система должна быть таковой, чтобы в ней можно было выделить отдельные этапы. Метод динамического программирования дает хорошие результаты, когда число возможных управлений на каждом шаге не слишком велико. В общем виде схема решения задачи представлена на рисунке 3.16. Состояние системы, которая участвует в процессе, определяется совокупностью чисел, называемых фазовыми переменными или переменными состояния. В общем виде состояние системы на k -м шаге обозначается вектором состояния и записывается для рассматриваемой задачи следующим образом:

$$N^k = (N_1^0 + \Delta N_{1j}^k, N_2^0 + \Delta N_{2j}^k, N_3^0 + \Delta N_{3j}^k, N_n^0 + \Delta N_{nj}^k). \quad (3.69)$$

При этом дальнейшее развитие системы зависит только от данного состояния N^k . Процесс длится определенное число шагов A . На каждом шаге производится выбор одного решения (управления)

$$\Delta N^k = (\Delta N_{1j}^k, \Delta N_{2j}^k, \Delta N_{3j}^k, \dots, \Delta N_{nj}^k), \quad (3.70)$$

под воздействием которого система переходит из состояния N^{k-1} в новое состояние

$$N^k = N^k(N^{k-1}, \Delta N^k). \quad (3.71)$$

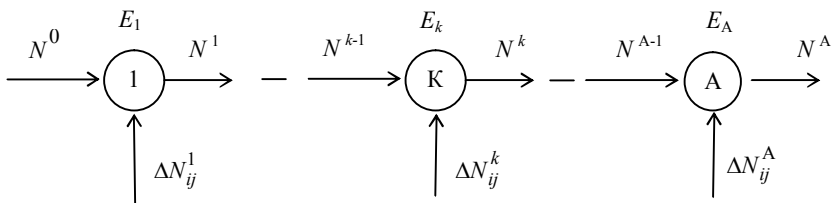


Рисунок 3.16 – Схема решения задачи

При решении задач методом динамического программирования рас-

смотренный процесс должен быть марковским или процессом без последействия. Тогда можно утверждать, что управление ΔN^k , применяемое к системе, зависит только от достигнутого текущего состояния

$$\Delta N^k = \Delta N^k(N^{k-1}). \quad (3.72)$$

Каждый шаг по переводу системы из одного состояния в другое (например, N^{k-1} в N^k) связан с определенными расходами. Величина этих расходов зависит от текущего состояния N^{k-1} и выбранного решения ΔN^k , так как процесс марковский:

$$E_k = E_k(N^{k-1}, \Delta N^k). \quad (3.73)$$

Тогда общий объем приведенных расходов за A шагов складывается из расходов на отдельных шагах:

$$E = \sum_{k=1}^A E_k(N^{k-1}, \Delta N^k). \quad (3.74)$$

Как правило, на векторы состояния N и векторы решения ΔN накладываются ограничения, задающие допустимые области их изменения:

$$N \in G_1; \Delta N \in G_2.$$

Любая допустимая последовательность решений $\Delta N = \{\Delta N^1, \Delta N^2, \Delta N^3, \dots, \Delta N^k, \dots, \Delta N^A\}$, переводящая систему из начального состояния N^0 в конечное N^A , называется *стратегией управления*. Последовательность решений, приводящая к минимуму выбранного критерия (3.63), называется *оптимальной стратегией*.

Метод динамического программирования требует, чтобы критерий количества (качества) обладал свойствами сепарабельности и аддитивности. Сепарабельность функции заключается в том, что она может быть записана как сумма m функций, каждая из которых является функцией одной переменной:

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m) = f_1(x_1) + f_2(x_2) + f_3(x_3) + \dots + f_m(x_m). \quad (3.75)$$

Рассматриваемая задача оптимального развития системы (ремонтной базы) позволяет заключить, что функция, которую необходимо минимизировать (максимизировать), является сепарабельной, так как эту функцию можно представить как сумму слагаемых, каждое из которых будет характеризовать состояние одного депо и зависеть от одной переменной. Однако условие сепарабельности не является достаточно строгим. Дело в том, что в первоначальной постановке задача может не описываться функцией (3.75), однако в дальнейшем ее можно привести к форме (3.75).

Другим, более жестким свойством критерия является его аддитивность. Аддитивность указывает на то, что слагаемые, входящие в критерий, рассчитываются на каждом шаге процесса оптимизации. Более подробно это свойство будет проиллюстрировано при рассмотрении принципа оптимизации.

В основе теории динамического программирования процессов без последствия, каким является рассматриваемый пример (задача), лежит **принцип оптимальности**, который впервые был сформулирован американским ученым Р. Беллманом. Оптимальная стратегия обладает тем свойством, что каковы бы ни были начальное состояние и начальное решение, последующие решения должны составлять оптимальную стратегию относительно состояния, полученного в результате начального решения. Таким образом, к решению многошаговой задачи мы приходим через рассмотрение последовательности задач оптимизаций одно-, двух-, трех- и (в конечном счете) A -шагового процесса. Такой прием замены исходной задачи решением последовательности более простых задач составляет важнейшую особенность метода динамического программирования.

Математическая формулировка принципа оптимальности для процессов без последствия с аддитивным критерием может быть определена следующим образом. Обозначим через $E_A(N^0)$ минимальные дополнительные приведенные расходы, которые потребовались за A шагов для того, чтобы на полигоне реализовать потребный прирост программы ремонта ΔN , то есть

$$E_A(N^0) = \min [E_1(N^0, \Delta N^1) + E_2(N^1, \Delta N^2) + \dots + E_A(N^{A-1}, \Delta N^A)]. \quad (3.76)$$

Если предположить, что после первого шага процесс развивался оптимально, то общие дополнительные расходы на реализацию A шагов

$$E = E_1(N^0, \Delta N^1) + F_{A-1}(N^1), \quad (3.77)$$

где $F_{A-1}(N^1)$ – дополнительные приведенные расходы для доведения системы до конечного состояния за $A - 1$ шагов.

Для оптимизации рассматриваемого процесса для всех A шагов необходимо найти то начальное решение ΔN^1 , при котором дополнительные приведенные расходы были бы минимальными, то есть $E_1(N^0, \Delta N^1) = \min$. Тогда минимальные дополнительные расходы от всего процесса оптимизации

$$E_A(N^0) = \min_{\Delta N^1} [E_1(N^0, \Delta N^1) + F_{A-1}(N^1)]; \quad (3.78)$$

$$\Delta N_A(E^0) = \max_{E^1} [\Delta N_1(E^0, E^1) + \Delta N_{A-1}(E^1)]. \quad (3.79)$$

Выражение (3.79) и представляет собой математическую запись принципа оптимальности. Оно носит название функционального уравнения и имеет рекуррентный характер, который заключается в том, что для вычисления очередного значения функции $F_{A-1}(N^1)$ в качестве аргумента используется предыдущее значение функции $E_1(N^0, \Delta N^1)$. Вся последовательность вычислений, приводящая к $E_A(N^0)$, может быть выполнена, если известно значение какой-либо одной функции $E_{A-k}(N^{k-1})$. В качестве такой функции удобно взять $E_0(N^A)$, поскольку

$$E_0(N^A) = 0. \quad (3.80)$$

Это значение указывает на то, что за пределы конечного состояния систему развивать нет необходимости, а значит, дополнительные приведенные расходы равны нулю.

Таким образом, задача об отыскании оптимальной стратегии переходит в задачу по определению решения функционального уравнения (3.79).

Разработанная методика развития базы основана на использовании метода динамического программирования.

Пусть на некотором полигоне железных дорог имеется три вагонных депо, характеристика которых приведена в таблице 3.18. У первого вагонного депо начальная программа равна 4 720, второго – 5 664 и третьего – 6 608 вагонов в год. На указанном полигоне необходимо дополнительно реализовать программу депоовского ремонта $\Delta N = 8496$ ваг./год.

Т а б л и ц а 3.18 – Затраты на реконструкцию вагонных депо № 1–3*

В условных денежных единицах

Программа ремонта, ваг./ год	1			2			3		
	c_3	κE_{II}	E	c_3	κE_{II}	E	c_3	κE_{II}	E
4 720	1 497 246	541 195	2 038 441	–	–	–	–	–	–
5 664	1 662 628	541 195	2 203 823	1 690 473	570 948	2 261 421	–	–	–
6 608	1 907 136	623 996	2 531 132	1 937 812	649 335	2 587 147	1 721 852	445 198	2 167 050
7 552	2 226 965	748 795	2 975 760	2 191 880	717 598	2 909 478	1 878 144	445 198	2 323 342
8 496	2 392 347	748 795	3 141 142	2 353 104	717 598	3 070 702	1 959 179	532 793	2 491 972
9 440	2 616 396	803 982	3 420 388	2 614 104	806 391	3 420 495	1 115 471	532 793	2 848 264
10 384	2 839 464	854 399	3 693 863	2 880 625	869 999	3 750 624	2 572 150	599 995	3 172 145
11 328	3 005 074	854 399	3 859 473	3 041 859	869 999	3 911 858	2 728 442	599 995	3 328 447

Требуется найти оптимальный вариант развития базы, учитывая наличие объектов ремонта, местные особенности строительства, оперируя цифрами, подсчитанными по формулам и методикам, приведенным ранее. Представим графически процесс оптимизации в виде направленного графа (рисунок 3.17).

Начальное состояние системы имеет непосредственную связь с каждым из состояний вагонных депо. Такое условие необходимо для того, чтобы при решении задачи рассматривались все возможные варианты.

Связь начального состояния одного из депо непосредственно с конечным состоянием системы указывает на то, что данное депо не участвует в реализации ΔN , значит, дополнительные приведенные расходы на развитие депо равны нулю.

Связи между различными состояниями одного и того же депо отсутствуют, так как невозможно, чтобы вагонное депо находилось одновременно в двух состояниях.

Рассмотрим **процесс оптимизации развития вагоноремонтной базы**, протекающий в два этапа. На первом этапе предполагается, что реализация величины ΔN осуществляется за счет реконструкции вагонных депо № 1 и 2. В этом случае депо № 3 в рассмотрении не участвует.

Второй этап предусматривает развитие трех депо одновременно. По окончании вычислений на втором этапе выбирается тот вариант развития базы, при котором удовлетворяется величина ΔN при минимальных дополнительных приведенных расходах на развитие депо. Схему вычислительной процедуры в математических символах можно представить следующим образом. Вектор решения рассматриваемого примера содержит три переменные: ΔN_{1j} , ΔN_{2j} , ΔN_{3j} . Индекс j обозначает, по какому варианту происходит развитие базы. Первоначально необходимо выбрать значение одной из переменных и, зафиксировав его, минимизировать функциональное уравнение (3.79) по всем остальным переменным. Выбор переменной, по которой фиксируются ее значения, осуществляется произвольно. Зафикси-

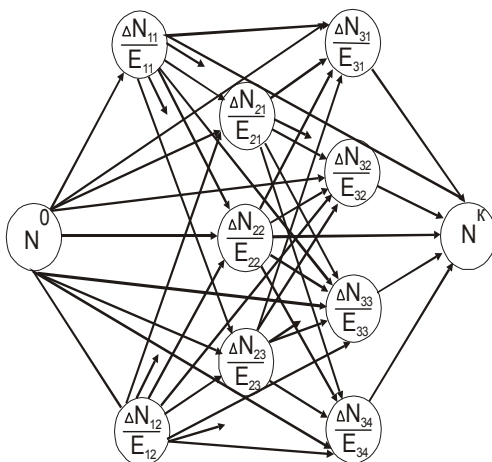


Рисунок 3.17 – Графическая интерпретация процесса оптимизации

руем значение переменной ΔN_{3j} . Для нашего примера (см. таблицу 3.19) она может принимать значения 944κ , где $\kappa = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$. Таким образом, на каждом этапе рассматривается многошаговый процесс, величина шага которого равна 944 вагонам. Затем производится максимизация по переменным ΔN_{1j} , и ΔN_{2j} для всех возможных фиксированных значений ΔN_{3j} . Тогда решением задачи будут те значения ΔN_{1j} , ΔN_{2j} и ΔN_{3j} , которые в сумме равны либо больше ΔN при минимальных дополнительных приведенных расходах. Указанные операции можно записать в форме уравнения следующим образом:

$$\min_{\Delta N_{1j}, \Delta N_{2j}} \left\{ \sum_{i=1}^3 E_i \right\} = E_3 + \min_{\Delta N_{1j}, \Delta N_{2j}} \left\{ \sum_{i=1}^2 E_i \right\}. \quad (3.81)$$

Член E_3 можно вынести из-под знака минимума, так как он не зависит от переменных ΔN_{1j} и ΔN_{2j} . Переменные ΔN_{1j} и ΔN_{2j} кроме требований (3.65) и (2.49) должны удовлетворять неравенству

$$\sum_{i=1}^2 \Delta N_{ij} \geq \Delta N - \Delta N_{3j}. \quad (3.82)$$

Так как $\min_{\Delta N_{1j}, \Delta N_{2j}} \left\{ \sum_{i=1}^2 E_i \right\}$ для неотрицательных целых чисел, удовлетворяющих выражению (3.82), зависит от $\Delta N - \Delta N_{3j}$, то можно записать:

$$\min_{\Delta N_{1j}, \Delta N_{2j}} \left\{ \sum_{i=1}^2 E_i \right\} = \lambda_{3-1}(\Delta N - \Delta N_{3j}). \quad (3.83)$$

Предположим, что мы вычислим $\lambda_{3-1}(\Delta N - \Delta N_{3j})$ для всех допустимых значений ΔN_{3j} . Тогда ясно, что

$$E(N^0) = \min_{\Delta N_{3j}} [E_3 + \lambda_{3-1}(\Delta N - \Delta N_{3j})]. \quad (3.84)$$

Для вычисления минимума в уравнении (3.84) величину

$$\Omega_3(\Delta N_{3j}) = E_3 + \lambda_{3-1}(\Delta N - \Delta N_{3j}) \quad (3.85)$$

определяют для всех допустимых значений ΔN_{3j} , а затем выбирают наименьшее значение Ω_3 . Одновременно определяют оптимальное значение переменной ΔN_{3j} . Таким образом, если бы нам была известна функция $\lambda_{3-1}(\Delta N - \Delta N_{3j})$, можно было бы свести задачу отыскания минимума дополнительных приведенных затрат к минимизации функции одной переменной. Следовательно, необходимо вычислить $\lambda_{3-1}(\Delta N - \Delta N_{3j})$.

Используя условия (3.82) и (3.83) для произвольного неотрицательного целого числа ξ , получим

$$\lambda_{3-1}(\xi) = \min_{\Delta N_{1j}, \Delta N_{2j}} \left\{ \sum_{i=1}^2 E_i \right\}, \quad (3.86)$$

где минимум берется по неотрицательным целым числам, удовлетворяющим условию

$$\sum_{i=1}^3 \Delta N_{ij} \leq \xi. \quad (3.87)$$

Действуя аналогичным образом, фиксируя значение ΔN_{2j} , находим

$$\lambda_{3-1}(\xi) = \min_{\Delta N_{2j}} [E_{3-1} + \lambda_{3-2}(\xi - \Delta N_{2j})], \quad (3.88)$$

где

$$\lambda_{3-2}(\gamma) = \min_{\Delta N_{1j}} \sum_{i=1}^2 E_{3-2}. \quad (3.89)$$

На этом процесс вычислений заканчивается, так как функция λ_{3-2} зависит только от одной переменной ΔN_{1j} . Чтобы окончательно решить задачу, необходимо весь процесс расчетов начать с определения $\lambda_{3-2}(\gamma)$, а затем проделать весь путь, вплоть до определения функции (3.81).

Весь процесс решения разбиваем на два этапа. На первом этапе необходимо условно-оптимальное решение в случае, когда развивается только первое и второе депо, т. е.

$$\Delta N_{1j} + \Delta N_{2j} = 8496 \text{ ваг.} \quad (3.90)$$

При этом рассчитываются расходы по реализации программы с 944 до 8496 ваг./год с шагом 944 вагона. Расходы, возникающие от увеличения программы системы на 944 вагона, определяем следующим образом:

$$\begin{aligned} & E_{1,2}(N_1^0, N_2^0; \Delta N_{1j}, \Delta N_{2j}) = \\ & = \min [E_1(N_1^0, 944) + E_2(N_2^0, 0); E_1(N_1^0, 0) + E_2(N_2^0, 944)]. \end{aligned} \quad (3.91)$$

Выражение (3.91) указывает на то, что для реализации возмущения, равного 944 вагонам, возможны два конкурентоспособных варианта: первый, когда 944 вагона реализуются за счет развития первого депо, что соответствует записи $[E_1(N_1^0, 944) + E_2(N_2^0, 0)]$ в выражении (3.91), и второй, когда

944 вагона реализуются за счет развития второго депо (расходы составят $[E_1(N_1^0, 0) + E_2(N_2^0, 944)]$).

Используя данные таблицы 3.19, определяем расходы по каждой из ситуаций:

$$E_{1,2}^1(4\ 720, 5\ 664; 944, 0) = 2\ 203\ 823 - 2\ 038\ 441 = 165\ 382 \text{ усл. ден. ед.};$$

$$E_{1,2}^{11}(4\ 720, 5\ 664; 0, 944) = 2\ 587\ 147 - 2\ 261\ 421 = 325\ 726 \text{ усл. ден. ед.}$$

Из двух значений находим минимальное – 165 382 руб., которое соответствует условию развития первого депо.

Следующее приращение к исходному состоянию системы составляет 1 888 вагонов. Возможные конкурентоспособные варианты для данного случая можно записать следующим образом:

$$E_{1,2}(4\ 720, 5\ 664; 1\ 888) = \min [E_1(4\ 720, 944) + E_2(5\ 664, 944); \\ E_1(4\ 720, 0) + E_2(5\ 664, 1\ 888); E_1(4\ 720, 1\ 888) + E_2(5\ 664, 0)]. \quad (3.92)$$

Используя значения, приведенные в таблице 3.18, получим

$$E_1(4\ 720, 5\ 664; 1\ 888) = 491\ 108 \text{ усл. ден. ед.}$$

Таким образом, условно-оптимальным вариантом для удовлетворения возмущения системы, равного 1 888 вагонам, является вариант развития первого и второго депо соответственно до уровней $N_1^0 + 944$ и $N_2^0 + 944$. В этом случае дополнительные приведенные расходы будут минимальными. Сравнивая выражения (3.91) и (3.92), находим, что здесь начинает проявляться рекуррентный характер функционального уравнения, так как при расчетах в качестве исходного используется результат вычисления для возмущения системы, равного 944 вагонам. Расчеты по первому этапу проводятся до тех пор, пока не будет выполнено условие (3.90).

При решении задачи могут возникнуть такие ситуации, когда возмущение системы не может быть реализовано за счет развития одного из депо (например, для второго депо с начальной программой ремонта $N_2^0 = 5\ 664$ вагона в год реализовать дополнительно 7 552 вагона). Чтобы исключить данный вариант из рассмотрения, примем $E_2(5\ 664; 7\ 552) = \max$, так как $5\ 664 + 7\ 552 = 13\ 216$ – предельная программа ремонта. Результаты расчетов по первому этапу сведем в таблицу 3.19.

Т а б л и ц а 3.19 – **Распределение программ ремонта при реконструкции двух депо**

Прирост программы, ваг.	$\Delta E_{1,2}^1$, усл. ден. ед.	ΔN_1	ΔN_2	Доля прироста, реализуемая в депо	
				ваг.	
				1	2
944	325 726 165 382	0 944	944 0	1,00	0,00
1 888	648 057 491 108 492 691	0 944 1 888	1 888 944 0	0,50	0,50
2 832	809 281 813 439 818 417 937 319	0 944 1 888 2 832	2 832 1 888 944 0	0,00	1,00
3 776	1 159 074 976 663 1 140 748 1 263 045 1 102 701	0 944 1 888 2 832 3 776	3 776 2 832 1 888 944 0	0,25	0,75
4 720	1 489 203 1 324 456 1 301 972 1 585 776 1 428 427 1 381 947	0 944 1 888 2 832 3 776 4 720	4 720 3 776 2 832 1 888 944 0	0,40	0,60
5 664	1 650 437 1 654 585 1 651 765 1 746 600 1 750 758 1 707 673 1 655 422	0 944 1 888 2 832 3 776 4 720 5 664	5 664 4 720 3 776 2 832 1 888 944 0	0,00	1,00
6 608	max 1 815 819 1 981 894 2 096 383 1 911 982 2 030 004 1 981 148 1 821 032	0 944 1 888 2 832 3 776 4 720 5 664 6 608	6 608 5 664 4 720 3 776 2 832 1 888 944 0	0,14	0,86
7 552	max max 2 143 129 2 426 522 2 261 775 2 191 228 2 303 479 2 146 758 max	0 944 1 888 2 832 3 776 4 720 5 664 6 608 7 552	7 552 6 608 5 664 4 720 3 776 2 832 1 888 944 0	0,25	0,75

Окончание таблицы 3.19

Прирост программы, ваг.	$\Delta E_{1,2}^1$, усл. ден. ед.	ΔN_1	ΔN_2	Доля прироста, реализуемая в депо	
				1	2
8 496	max	0	8 496	0,67	0,33
	max	944	7 552		
	max	1 888	6 608		
	2 587 756	2 832	5 664		
	2 591 904	3 776	4 720		
	2 541 021	4 720	3 776		
	2 464 703	5 664	2 832		
	2 469 089	6 608	1 888		
	max	7 552	944		
	max	8 496	0		

На втором этапе рассматриваем возможность удовлетворения ΔN за счет реконструкции всех трех депо. Используя рекуррентный характер функционального уравнения, можно получить следующее выражение для расчета дополнительных приведенных расходов:

$$E_{1,2,3}'' (N_1^0, N_2^0, N_3^0; \Delta N_{1j}, \Delta N_{2j}, \Delta N_{3j}) = \min [E_{1,2} (N_1^0, N_2^0; \Delta N_{1j}, \Delta N_{2j}); E_3 (N_3^0, \Delta N_{3j})]. \quad (3.93)$$

При возмущении системы, равном 944 вагонам, возможны два конкурентоспособных варианта: реализация возмущения за счет развития подсистемы депо № 1, 2 или за счет депо № 3. Расходы по первому варианту приведены в таблице 3.19, поэтому выбираем наименьшее из значений $E_{1,2}^1(944)$.

Тогда $E_{1,2,3}'' = E_{1,2}^1(944) = 165\,382$ усл. ден. ед. Вычисления по второму варианту дадут результат $E_{1,2,3}'' (N_1^0, N_2^0, N_3^0; 0, 0, 944) = 156\,292$ усл. ден. ед.

Таким образом, для перевода системы из начального состояния $(N_1^0 + N_2^0 + N_3^0) + \Delta N_{ij}$, где $\Delta N_{ij} = 944$ вагона, целесообразно развивать депо № 3 до состояния $6\,608 + 944$, а первое и второе депо должны оставаться в начальном состоянии.

Для реализации возмущения системы $\Delta N = 1\,888$ вагонов возможны также три конкурентоспособных варианта, которые характеризуются следующими функциональными уравнениями:

$$E_{1,2,3}'' (N_1^0, N_2^0, N_3^0; 1\,888) = E_{1,2}^1 (N_1^0, N_2^0; 0, 0) + E_3 (N_3^0; 1\,888);$$

$$E_{1,2,3}'' (N_1^0, N_2^0, N_3^0; 1\,888) = E_{1,2}^1 (944) + E_3 (N_3^0; 944).$$

Используя аддитивность критерия, уравнение (3.93) можно записать в виде

$$E''_{1,2,3} (N_1^0, N_2^0, N_3^0; 1\ 888) = E'_{1,2} (N_1^0, N_2^0; 1\ 888) + E_3 (N_3^0; 0). \quad (3.94)$$

Расчеты по выражениям (3.94)–(3.96) приведут к следующим значениям $E''_{1,2,3}$: 324 922; 321 764 и 491 108 усл. ден. ед.

В практических расчетах проще пользоваться выражением (3.94), не забывая об аддитивности критерия. Вычисления по выражению (3.95) дадут сумму приведенных расходов, равную 321 674 усл. ден. ед. Таким же образом находим, что для реализации в системе возмущения, равного 1 888 вагонам, необходимо первое депо развивать до уровня 4 720 + 944, второе – оставить в исходном состоянии 5 664, а третье – довести до уровня 6 608 + 944. Для этого варианта дополнительные приведенные расходы на реконструкцию депо будут минимальными – 321 674 усл. ден. ед. Расчеты по второму этапу продолжаем до тех пор, пока в системе не будет удовлетворено возмущение, равное $\Delta N = 8\ 496$ вагонам в год. Результаты расчетов сводим в таблицу 3.20.

Анализ полученных результатов позволяет выбирать оптимальный вариант реализации на полигоне $\Delta N = 8\ 496$ вагонов. Таким вариантом является $\Delta N_{1,1} = 944$, $\Delta N_{2,3} = 2\ 832$, $\Delta N_{3,5} = 4\ 720$ вагонов. При этом дополнительные приведенные расходы будут минимальными и составят 2 136 061 усл. ден. ед. Результаты таблицы 3.20 показывают, что в случае принятия неоптимального решения, например $\Delta N_{1,1} = 0$, $\Delta N_{2,6} = 5\ 664$, $\Delta N_{3,3} = 2\ 832$ вагона, дополнительные приведенные расходы увеличиваются в значительной степени – с 2 136 061 до 2 331 651 усл. ден. ед. (см. таблицу 3.20).

В настоящее время к вопросу реконструкции подходят интуитивно: либо отдавая весь прирост программы на полигоне одному (реже – двум) депо, реконструкцию которого считают экономически целесообразной, либо усиливают почти все существующие линейные предприятия путем незначительных перестроек. Оба метода имеют существенный недостаток: они практически никогда не позволяют найти оптимальный вариант развития базы. В то же время графики изменений приведенных расходов (рисунок 3.18) указывают на то, что выбор количества депо, требующих расширения, и методы их реконструкции всегда должны увязываться с величиной прироста программы на рассматриваемом полигоне дорог. Так, например, для реализации на полигоне $\Delta N = 6\ 608$ вагонов оптимальным вариантом является тот, когда первое депо будет развиваться до уровня 4 720 + 1 888, второе – 5 664 + 2 832, третье – 6 608 + 1 888 вагонов. А для реализации на полигоне $\Delta N = 7\ 552$ вагона оптимальным является вариант, когда развитию подвергаются только два депо: второе и третье.

Т а б л и ц а 3.20 – **Распределение программ ремонта при реконструкции трех депо**

Прирост программы, ваг.	$\Delta E_{1,2,3}$, усл. ден. ед.	ΔN_1	ΔN_2	ΔN_3	Доля прироста, реализуемая в депо		
		ваг.			1	2	3
944	156 292	0	0	944	0,00	0,00	1,00
	165 382	944	0	0			
1 888	324 922	0	0	1 888	0,50	0,00	0,50
	321 674	944	0	944			
	491 108	944	944	0			
2 832	681 214	0	0	2 832	0,33	0,00	0,67
	490 304	944	0	1 888			
	647 450	944	944	944			
	809 281	0	2 832	0			
3 776	1 005 095	0	0	3 776	0,25	0,25	0,50
	846 596	944	0	2 832			
	816 030	944	944	1 888			
	965 573	0	2 832	944			
	974 663	944	2 832	0			
4 720	1 161 398	0	0	4 720	0,20	0,60	0,20
	1 170 474	944	0	3 776			
	1 172 322	944	944	2 832			
	1 134 203	0	2 832	1 888			
	1 130 955	944	2 832	944			
	1 301 972	1 888	2 832	0			
5 664	max	0	0'	5 664	0,17	0,50	0,33
	1 326 780	944	0	4 720			
	1 496 203	944	944	3 776			
	1 490 495	0	2 832	2 832			
	1 299 585	944	2 832	1 888			
	1 458 264	1 888	2 832	944			
	1 650 437	0	5 664	0			
6 608	max	0	0	6 608	0,29	0,42	0,29
	max	944	0	5 664			
	1 652 106	944	944	4 720			
	1 814 376	0	2 832	3 776			
	1 655 877	944	2 832	2 832			
	1 626 894	1 888	2 832	1 888			
	1 806 729	0	5 664	944			
	1 815 819	944	5 664	0			

Окончание таблицы 3.20

Прирост программы, ваг.	$\Delta E_{1,2,3}$, усл. ден. ед.	ΔN_1	ΔN_2	ΔN_3	Доля прироста, реализуемая в депо		
		ваг.			1	2	3
7 552	max	0	0	7 552	0,00	0,38	0,62
	max	944	0	6 608			
	max	944	944	5 664			
	1 970 679	0	2 832	4 720			
	1 979 758	944	2 832	3 776			
	1 983 186	1 888	2 832	2 832			
	1 975 359	0	5 664	1 888			
	1 972 111	944	5 664	944			
	2 143 129	1 888	5 664	0			
8 496	max	0	0	8 496	0,11	0,33	0,56
	max	944	0	7 552			
	max	944	944	6 608			
	max	0	2 832	5 664			
	2 136 061	944	2 832	4 720			
	2 307 067	1 888	2 832	3 776			
	2 331 651	0	5 664	2 832			
	2 140 741	944	5 664	1 888			
	2 299 428	1 888	5 664	944			
	2 464 703	5 664	2 832	0			

Анализ проведенных расчетов позволяет сделать **вывод**: можно составить прогноз на развитие вагоноремонтной базы в зависимости от планируемой программы ремонта ΔN .

Существующая практика перспективного развития вагоноремонтной базы имеет еще один существенный недостаток: варианты реконструкции депо рассматриваются без взаимосвязи. Расчеты, проведенные по предлагаемой методике, показали, что необходимо рассматривать систему, а не отдельные депо. И чем больше рассматриваемая система (количество депо), тем с меньшими затратами можно реализовать граничные условия задачи. Для на-

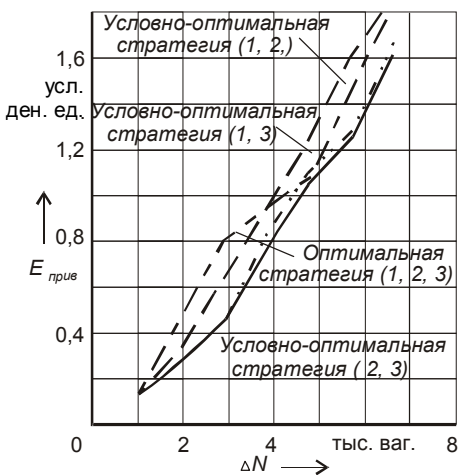


Рисунок 3.18 – Графики изменений дополнительных приведённых расходов от прироста программы

глядной иллюстрации сказанного дополнительно были рассмотрены варианты реализации на полигоне программы $\Delta N = 8496$ вагонов при условии развития депо № 1, 3 и 2, 3. По результатам расчетов были построены графики изменений дополнительных приведенных расходов от прироста программы на полигоне (см. рисунок 3.18). Такой анализ подтверждает ранее высказанное предположение о том, что неважно, на какую из переменных наложено ограничение о ее постоянстве. В своем примере мы предположили, что $\Delta N_{3j} = \text{const}$, а дальше рассматривали задачу с двумя переменными – ΔN_{1j} и ΔN_{2j} . Если бы мы предположили, что $\Delta N_{1j} = \text{const}$ и работали с переменными ΔN_{2j} и ΔN_{3j} , то все равно для любого из вариантов ΔN дополнительные расходы на развитие системы депо № 3 и 2 были бы выше, чем для системы депо № 1, 2, 3 (см. рисунок 3.18). Имея такие зависимости, легко определить зону эффективности поиска оптимального решения.

Отличительная особенность разработанной методики рационального развития депо для выполнения заданной величины прироста программы ΔN заключается в том, что результаты расчетов являются исходным материалом для оптимального распределения ресурсов между вагонными депо.

В таблице 3.21 приведены результаты расчета по распределению капитальных вложений между депо для различных значений ΔN . Они позволяют установить дополнительные капитальные вложения на реконструкцию базы, при которых достигается максимальный эффект. Например, если на развитие депо полигона будет выделено 2,5 усл. ден. ед., то это значит, что максимальный прирост программы составит 6 608 вагонов. Однако для фактической реализации ΔN необходимо не 2,5 усл. ден. ед., а 2,14 усл. ден. ед., т. е. около 0,36 усл. ден. ед. будут израсходованы без возвратного эффекта. Таким образом, реализация разработанной методики позволяет также уменьшать величину капитальных вложений k и рационально распределять их между депо. По результатам таблицы 3.20 построены графики (рисунок 3.19), указывающие на области нечувствительности системы от воздействия на нее капитальных вложений. Наличие таких графиков позволяет установить критические значения дополнительных вложений, которые дают максимальный эффект от их реализации.

Анализ данных таблицы 3.20 и графиков (см. рисунок 3.18) показывает, что наличие минимума по приведенным расходам E для сравниваемых вариантов зачастую не соответствует минимуму по приведенным капитальным вложениям kE_n . Например, для $\Delta N = 6\ 608$ вагонов оптимальный вариант распределения дал следующие результаты: $E = 1\ 626\ 894$ усл. ден. ед.; $kE_n = 257\ 046$ усл. ден. ед.; $c_3 = 1\ 369\ 848$ усл. ден. ед. При этом ΔN распределилось между депо следующим образом: $\Delta N_1 = 1\ 888$ ваг., $\Delta N_2 = 2\ 832$ ваг., $\Delta N_3 = 1\ 888$ ваг. В то же время при распределении программы $\Delta N_1 = 944$ ваг., $\Delta N_2 = 944$ ваг., $\Delta N_3 = 4\ 720$ ваг. дополнительные капитальные вложения со-

ставляют 233 332 усл. ден. ед., что меньше, чем для оптимального варианта. Однако приведенные расходы для этого варианта значительно большие, чем для оптимального. Такие результаты анализа позволяют сделать вывод, что при решении задачи развития вагоноремонтной базы на заданном полигоне критерием могут быть только приведенные расходы $\kappa E_n + c_3$.

Таблица 3.21 – Величины приведенных затрат и капитальных вложений для различных вариантов развития депо

В условных денежных единицах				
Прирост программы	$E_{1,2}$	$E_{1,2,3}$	$\kappa_{1,2}$	$\kappa_{1,2,3}$
944	165 382	165 328	0	0
1 888	491 108	321 674	653 225	0
2 832	809 281	490 304	1 222 083	729 958
3 776	974 663	816 030	1 222 083	1 299 850
4 720	1 301 972	1 130 955	1 912 091	1 222 083
5 664	1 650 437	1 299 585	2 492 091	1 452 116
6 608	1 815 819	1 626 894	2 492 091	2 142 050
7 552	2 143 129	1 970 679	3 182 099	2 512 150
8 496	2 464 703	2 136 061	3 832 116	2 512 150

Сравнивая различные варианты развития депо при $\Delta N = 4 720$ ваг. и $\Delta N = 8 496$ ваг., находим, что оптимальным вариантам соответствуют минимальные приведенные расходы и капиталовложения. Причиной этого является то, что для этих вариантов первое, второе и третье депо выведены на критические точки. Например, критической точкой для депо № 1 является программа 5 664, или 4 720 + 944 ваг., потому что развитие этого депо с 4 720 до 5 664 ваг. не требует дополнительных капитальных вложений. Аналогичный вывод и для депо № 2. Для них критическими являются программы 8 497 и 11 329 ваг, для депо № 3 – 7 552, 9 441 и 11 329 ваг. (см. таблицу 3.18).

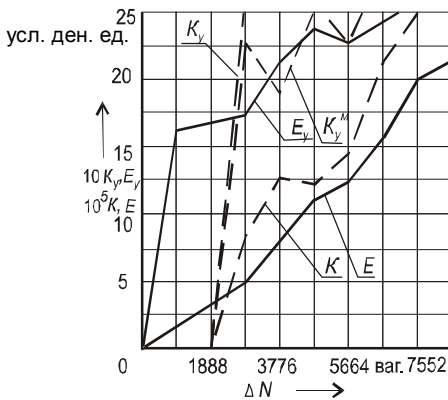


Рисунок 3.19 – Графики изменения приведенных затрат и капитальных вложений от программы ремонта

Таким образом (см. таблицу 3.20), расчет оптимального развития вагоноремонтной базы по предлагаемой методике позволяет установить для произвольного полигона оптимальные величины программ $N'_{\text{опт}} = (4 720 + 944) + (5 664 + 2 832) + (6 608 + 944)$ ваг.; $N''_{\text{опт}} = (4 720 + 944) + (5 664 + 2 832) + (6 608 + 4 720)$ ваг.

Определение оптимальных величин программ ремонта вагонов на полигоне железных дорог является очень важным, так как при их реализации достигается полное использование имеющихся в депо производственных фондов.

Величина приведенных затрат и капитальных вложений для разных вариантов и программ развития базы на заданном полигоне дорог даны в таблице 3.22.

Таблица 3.22 – Распределение капитальных вложений по вагонным депо

Прирост программы	E	C ₃	κE _n	ΔN _i			Распределение капитальных вложений по депо				
				1	2	3					
944	156 292	156 292	0	0	0	944	κ = 0				
	165 328	165 328	0	944	0	0	κ = 0				
1 888	324 922	297 327	27 595	0	0	1 888	κ = 0				
	321 674	321 674	0	944	0	944					
	491 108	412 721	78 387	944	944	0					
2 832	618 212	593 619	87 593	0	0	2 832	κ _i	0	729 958	0	729 958
	490 304	402 709	87 595	944	0	1 888					
	647 400	569 013	78 387	944	944	944					
	809 281	662 631	146 650	0	2 832	0	ΔN _i	944	0	1 888	
3 776	1 005 095	850 258	154 797	0	0	3 776	κ	1 299 850			
	846 596	759 001	87 593	944	0	2 832					
	816 030	660 048	155 982	944	944	1 888	κ _i	0	569 892	729 958	
	965 573	818 923	146 650	0	2 832	944					
	974 663	828 013	146 650	944	2 832	0	ΔN _i	944	944	1 888	
4 720	1 161 397	1 006 590	154 807	0	0	4 720	κ	1 222 083			
	1 170 477	1 015 679	154 798	944	0	3 776					
	1 172 322	840 958	331 364	944	944	2 832	κ _i	0	1 222 083	0	
	1 134 203	959 858	174 245	0	2 832	1 888					
	1 130 955	984 305	146 650	944	2 832	944					
	1 301 972	1 072 521	229 451	1 888	2 832	0	ΔN _i	944	2 832	944	
5 664	max	–	–	0	0	5 664	κ	1 452 116			
	1 326 780	1 171 972	154 807	944	0	4 720					
	1 736 203	1 263 019	233 184	944	944	3 776	κ _i	0	722 158	729 958	
	1 790 495	1 256 250	234 245	0	2 832	2 832					
	1 299 585	1 125 340	174 245	944	2 832	1 888					
	1 458 264	1 228 813	229 451	1 888	2 832	944	ΔN _i	944	2 832	1 888	
	1 650 437	1 342 918	308 219	0	5 664	0					
6 608	max	–	–	0	0	6 608	κ	2 142 050			
	max	–	–	944	0	5 664					
	1 652 106	1 418 774	233 332	944	944	4 720	κ _i	689 933	722 158	729 958	
	1 814 376	1 512 929	301 447	0	2 832	3 776					
	1 655 877	1 421 632	234 245	944	2 832	2 832					
	1 626 894	1 369 848	257 046	1 888	2 832	1 888					
	1 806 729	1 507 678	298 118	0	5 664	944	ΔN _i	1 888	2 832	1 888	
	1 815 819	1 516 706	299 639	944	5 664	0					
7 552	max	–	–	0	0	7 552	κ	2 512 150			
	max	–	–	944	0	6 608					
	max	–	–	944	944	5 664					
	1 970 679	1 669 221	301 447	0	2 832	4 720	κ _i	0	722 158	89 992	
	1 979 758	1 678 311	301 447	944	2 832	3 776					
	1 983 186	1 666 140	317 046	1 888	2 832	2 832					
	1 975 359	1 640 713	326 646	0	5 664	1 888					
	1 972 111	1 673 060	299 051	944	5 664	944	ΔN _i	0	2 832	4 720	
	2 143 129	1 761 276	381 833	1 888	5 664	0					

Окончание таблицы 3.22

Прирост	E	C ₃	κE _n	ΔN _i	Распределение капитальных вло-
---------	---	----------------	-----------------	-----------------	--------------------------------

программы				1	2	3	жений по депо						
8 496	max	–	–	0	0	8 496	κ	2 512 150					
	max	–	–	944	0	7 552							
	max	–	–	944	944	6 608							
	max	–	–	0	2 832	5 664	κ _i	0	722 158	1 789			
	2 136 061	1 834 603	301 458	944	2 832	4 720							
	2 307 067	1 922 819	384 248	1 888	2 832	3 776	992						
	2 331 651	1 945 005	386 644	0	5 664	2 832							
	2 140 741	1 814 095	326 646	944	5 664	1 888							
	2 299 421	1 918 508	380 913	1 888	5 664	944							
	2 464 703	2 094 849	459 854	5 664	2 832	0							
						ΔN _i					944	2 832	4 720

3.3 Вероятностные модели в расчетах основных параметров вагонных депо

3.3.1 Современное состояние и направление развития теории и практики расчета основных технико-экономических показателей депо

В настоящее время испытываемый дефицит деповской вагоноремонтной базы обусловлен в основном двумя причинами: приростом величины потребности в ремонте в связи с выполнением всех плановых ремонтов на существующих площадях; ухудшением технического состояния вагонов, приводящем к увеличению простоя их в ремонте. Вместе с тем важное место в создании необходимых условий для своевременного и качественного ремонта вагонов занимает обоснованный расчет основных технико-экономических характеристик депо. Существующие подходы и разработанные на их основе методики обладают весьма существенным недостатком: все исходные параметры принимаются как детерминированные. Исследования показали, что при таком подходе результаты расчетов основных параметров депо находятся в противоречии с важнейшим показателем, которым является **трудоемкость ремонта вагонов**, имеющая вероятностный характер. Это приводит к тому, что во многих случаях при разработке вариантов реконструкции депо, сопровождаемых расчетом основных технико-экономических показателей, решения принимаются интуитивно. Поэтому на сети железных дорог СНГ создались ситуации, когда вагонные депо, имеющие одинаковую программу ремонта по одному и тому же типу вагонов, обладают различными производственными площадями. При этом колебания достигают весьма существенных величин.

Еще более контрастно проявляется несоответствие в целом по депо сети, специализирующихся на ремонте различных типов вагонов. Например, величина, характеризующая отношение площади участка по ремонту тележек вагонов к производственной программе депо, для грузовых вагонов имеет

следующие параметры: для крытых вагонов – среднее арифметическое – 0,17 м²/ваг., среднее квадратическое отклонение – 0,12 м²/ваг., коэффициент вариации – 70,59 %; для платформ, полувагонов и цистерн – соответственно 0,09 м²/ваг., 0,07 м²/ваг., 77,78 %; 0,17 м²/ваг., 0,25 м²/ваг., 147,06 %; 0,07 м²/ваг., 0,03 м²/ваг., 42,86 %. Такие колебания не определяются объективной ситуацией работы вагонных депо и являются недопустимыми при перспективном планировании развития базы депоовского ремонта вагонов. К **основным показателям**, которые определяют эффективность работы вагонных депо, относятся:

а) обоснованность расчета пропускной способности участков, отделений по ремонту узлов и деталей, а также вагонного депо в целом;

б) обеспеченность программы ремонта:

– фронтом работ вагоносборочного участка (ВСУ);

– потребным контингентом работников по участкам и отделениям;

– потребным оборудованием;

в) обеспеченность производственными площадями:

– участков и отделений;

– преддеповской территории и территории станции, предназначенной для накопления вагонов, требующих планового ремонта.

Под пропускной способностью вагонных депо следует понимать максимальное число вагонов, при котором вероятность их обслуживания в заданном интервале времени окажется равной или больше заданной величины p_3 . Если рассматривать этот показатель за период времени один год, то его можно идентифицировать с производственной мощностью депо, которая определяется следующим образом:

$$M_{ц} = \Phi_{ц} F_{ц} / (f_{в} t_{в}), \quad (3.95)$$

где $M_{ц}$ – производственная мощность вагоносборочного участка за расчетный период, ваг.; $\Phi_{ц}$ – фонд времени работы участка за тот же период, ч; $F_{ц}$ – производственная площадь участка, м²; $f_{в}$ – удельная площадь, приходящаяся на один вагон, с учетом проездов, проходов и пр., принимаемая для каждого типа вагонов согласно нормам проектирования, м²/ваг.; $t_{в}$ – время нахождения вагона в ремонте, ч.

В целом для вагоноремонтной базы рассчитывается фронт работы вагоносборочных участков, который необходимо иметь для своевременного и качественного выполнения программы ремонта:

$$P_{pi} = N_{деп. i}^{рем} t_{vi} / (\Phi'_{ц} k_{см}), \quad (3.96)$$

где $N_{\text{деп.}i}^{\text{рем}}$ – программа деповского ремонта вагонов i -го типа, которая должна быть выполнена за год; $t_{\text{в}i}$ – время нахождения вагона i -го типа в ремонте, ч; $\Phi'_{\text{ц}}$ – фонд времени работы депо за тот же период при односменном режиме работы, ч; $k_{\text{см}}$ – коэффициент сменности работы депо.

Однако известно, что производственная мощность вагонного депо определяется также технологическими схемами и параметрами применяемых поточных линий. С учетом этих показателей наличную пропускную способность вагонооборотного участка можно определить по следующей зависимости:

$$N_{\text{н}} = (8760 - t_{\text{обсл}}) \Phi_{\text{л}} n_{\text{л}} k_{\text{pp}} k_{\text{н}} / T_{\text{пл}}, \quad (3.97)$$

где 8760 – количество календарных часов в году; $t_{\text{обсл}}$ – время, необходимое для профилактического обслуживания поточной линии (при двухсменном режиме работы $t_{\text{обсл}} = 0$); $\Phi_{\text{л}}$ – фронт работ поточной линии; $n_{\text{л}}$ – количество поточных линий ВСУ; k_{pp} – коэффициент, учитывающий режим работы депо; $k_{\text{н}}$ – коэффициент, определяемый надежностью работы поточной линии; $T_{\text{пл}}$ – время нахождения вагона на позициях поточной линии.

Однако и для первого (3.95), и для второго (3.97) подходов характерна существенная особенность: они не учитывают вероятностный характер трудоемкости ремонта вагонов, а следовательно, и времени нахождения его в ремонте. Поэтому важнейшим направлением совершенствования теории расчета наличной пропускной способности депо является учет вероятностного характера входящих параметров. Этот же недостаток характерен и для применяемых в настоящее время методик по расчету контингента работников –

$$R = NH/F, \quad (3.98)$$

потребного оборудования –

$$n_j^{\text{об}} = N_j c_j / \Phi_j, \quad (3.99)$$

где N – программа ремонта вагонов в депо за год; H – трудоемкость ремонта вагона; F – годовой фонд времени работника; N_j – программа ремонта вагонов, их узлов и деталей, проходящих обработку на j -м оборудовании; c_j – затраты станко-часов на единицу программы; Φ_j – действительный годовой фонд времени j -го оборудования.

Для стабильного функционирования вагонное депо должно обладать достаточной преддеповской территорией. Она необходима для того, чтобы можно было накапливать вагоны перед ремонтом и производить их подбор по определенным признакам в партии. Опыт работы вагонных депо железных дорог развитых стран показывает, что этому вопросу уделя-

ется должное внимание. Например, преддеповская территория вагонных депо США может одновременно принимать от 200 до 500 вагонов.

Анализ работы отечественных вагонных депо показывает, что в процессе проектирования вопросу создания преддеповской территории не уделялось должного внимания. Это приводит к тому, что для многих вагонных депо вагоны, требующие ремонта, ожидают подачи в ВСУ на тракционных путях. Этим самым не создаются необходимые условия для проведения соответствующего объема работ с вагонами перед подачей их на позиции ВСУ. Можно утверждать, что

$$S^{\text{пд}} = f(N, t_{\text{в}}^{\text{пд}}), \quad (3.100)$$

где $S^{\text{пд}}$ – площадь преддеповской территории; N – годовая программа ремонта вагонов; $t_{\text{в}}^{\text{пд}}$ – время нахождения вагона на территории депо перед подачей на позиции ВСУ.

Выполненные исследования показали, что величина $t_{\text{в}}^{\text{пд}}$ имеет вероятностный характер. Поэтому развитие теории обеспечения депо преддеповской территорией должно вестись по пути перехода к вероятностным моделям.

Аналогичный вывод соответствует и направлению по совершенствованию методики расчета площади станции (емкости станционных путей), которую необходимо предусмотреть для накопления вагонов, ожидающих подачи в плановые ремонты. Существующий подход к расчету станционной территории для накопления этих вагонов, предусматривающий учет только интенсивности проследования вагонов через станцию, не создает необходимых условий для ритмичного обеспечения депо объектами ремонта и зачастую приводит к неоправданному увеличению времени нахождения вагона в неисправном состоянии,

Таким образом, основополагающим моментом в совершенствовании теории и практики расчета основных технико-экономических показателей депо является переход от детерминированных к вероятностным моделям.

3.4 Методика прогнозирования потребной мощности вагоноремонтной базы

3.4.1 Роль теории прогнозирования в повышении эффективности функционирования железнодорожного транспорта

Известно, что основной задачей транспортной системы страны является своевременное, качественное и полное удовлетворение народного хозяйства и населения в перевозках. Комплексный анализ важнейших показателей работы транспорта свидетельствует о том, что решаются эти задачи в настоя-

щее время неудовлетворительно. И одной из причин является несовершенство системы прогнозирования и планирования объемов работы на различных уровнях управления.

В последнее время для железнодорожного транспорта характерно резкое возрастание динамики работы всех элементов, стохастический характер входящих в систему потоков для обслуживания. В связи с этим ошибки, допущенные на стадии прогнозирования, оказывают существенно влияние на конечные результаты работы транспорта. Принимаемые в дальнейшем оперативные действия не приносят желаемого результата, выделяемые на развитие капитальные вложения используются неэффективно. Поэтому уменьшение неопределенности прогнозов по перспективам работы различных объектов железнодорожного транспорта является одним из неиспользованных моментов перехода с экстенсивного на интенсивный путь развития. Уменьшить неопределенность прогнозов можно только при условии, когда прогноз предстанет как научное предвидение, основанное на глубоком и систематическом изучении качественных и количественных закономерностей развития не только железнодорожного транспорта, но и смежных отраслей. На **эффективность применения в планировании долгосрочных прогнозных моделей** скажутся следующие аспекты:

1 *Резкое повышение значимости морального и физического износа технических объектов и систем.* Это приводит к снижению продолжительности периода от их разработки до исключения из эксплуатации. При этом ошибки в прогнозах на создание и развитие таких систем приведут к невосполнимым потерям капитальных затрат. Нечто подобное происходит сейчас с проблемой оснотности грузового подвижного состава и его специализаций.

2 *Рост затрат на изыскание, проектирование и строительство большинства объектов железнодорожного транспорта.* Например, за последние 25 лет стоимость строительства депо по ремонту грузовых вагонов возросла на 300 % (в сопоставимых ценах) при одном и том же уровне концентрации и специализации ремонта. За этот же период стоимость одного грузового вагона увеличилась более чем в 1,5 раза. Здесь проявились как объективные, так и субъективные факторы. При такой ситуации значительно повышается стоимость риска реализации необоснованного прогноза, например, в оценке потребной мощности деповской вагоноремонтной базы.

3 *Значительная продолжительность периода упреждения прогноза.* Продолжительность расчетного цикла

$$\bar{T}_{\text{рц}} = \bar{T}_{\text{п}} + \bar{T}_{\text{с}} + \bar{T}_{\text{о}} + t_{\beta} \sqrt{\sigma_{\text{п}}^2 + \sigma_{\text{с}}^2 + \sigma_{\text{о}}^2}, \quad (3.101)$$

где $\bar{T}_{\text{п}}$, $\bar{T}_{\text{с}}$, $\bar{T}_{\text{о}}$ – средняя арифметическая продолжительность, соответственно, проектирования, строительства и освоения объекта; t_{β} – параметр,

величина которого принимается в зависимости от уровня доверительной вероятности; σ_p , σ_c , σ_o – среднее квадратическое отклонение продолжительности, соответственно, проектирования, строительства и освоения проектной мощности. В таблице 3.23 приведены данные показателей, входящих в формулу (3.101), характерные для устройств вагонного хозяйства.

Таблица 3.23 – Результаты расчетов

Средняя продолжительность периодов, лет			Среднее квадратическое отклонение продолжительности периодов, лет			Расчетная продолжительность реализационного цикла (лет) при уровне доверительной вероятности	
проектирования	строительства	освоения	проектирования	строительства	освоения	0,90	0,95
3,1	3,3	0,7	0,5	0,4	0,2	7–8	8–9

Согласно СНиП II-36–79 мощность грузовых вагонных депо при проектировании должна быть рассчитана с учетом 10-го года эксплуатации, а период упреждения прогноза в этом случае должен составлять 18–20 лет. В настоящее время при проектировании депо учитываются только рекомендации СНиП и не учитывается полная продолжительность "реализационного цикла". Естественно, что при таком подходе значительно занижается необходимый уровень упреждения прогноза. И к моменту пуска в эксплуатацию вагонные депо уже не смогут обеспечить требуемую пропускную способность, исходя из наличного парка вагонов, существующей системы ремонта и эксплуатационной надежности подвижного состава. Такая практика выработки стратегии развития базы приводила и продолжает приводить к значительным потерям капитальных вложений, сократить которые оперативными мерами не представляется возможным.

4 *Необходимость разработки научно обоснованных схем генеральных планов развития, размещения и специализации баз по эксплуатационному обеспечению подвижного состава.* Такие схемы должны разрабатываться комплексно с учетом смежных отраслей.

3.4.2 Основы научного прогнозирования и требования к прогнозирующей системе при расчете потребной мощности базы деповского ремонта грузовых вагонов

Возможность выработки научно обоснованного прогноза базируется на следующих **основополагающих факторах**:

1 Существует взаимосвязь прошлых, настоящих и будущих характеристик изучаемых явлений.

2 Проявляется объективная закономерность и причинная обусловленность всех явлений природы и общества.

3 Познаваемость законов изменения различных процессов – объективная реальность.

Одной из основных характеристик прогнозируемой системы выступает точность, которая, в свою очередь, определяется тем, насколько она соответствует цели исследования, а также свойствам описываемого процесса. Определяющими факторами **точности модели** являются:

1 Объективная оценка детерминированных и стохастических свойств объекта.

2 Учет и реакция на соотношения эволюционных участков развития и скачков.

3 Возможность учета временных смещений в подсистеме передачи информационных потоков.

4 Отражение временных и фазовых источников информационного обеспечения.

Однако известно, что "... сколь бы ни было точно математическое решение, оно не может быть точнее тех приближенных предпосылок, на коих оно основано". **Ошибка моделирования** может быть оценена как результат проявления действий трех составляющих:

1) неполной идентификацией входных переменных модели и фактических значений;

2) неполной адекватностью модели и описываемого физического процесса. В этом случае адекватность проявляется зависимостью входных и выходных параметров. Эта составляющая ошибки определяется методическим и функциональным аспектами. Первый проявляется через упрощение реальной действительности, а второй – через несовершенство структуры модели;

3) неточностью измерения моделируемой переменной в реальном масштабе времени.

Существуют различные пути уменьшения ошибки моделирования, однако при этом необходимо помнить, что

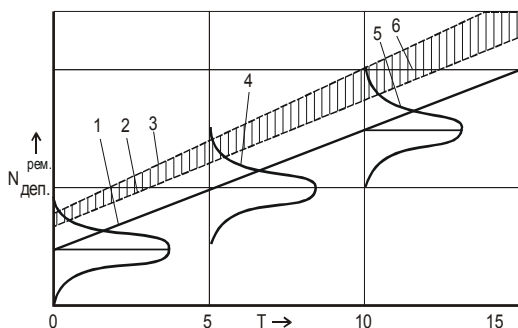
– повышение точности модели всегда влечет за собой увеличение затрат как на ее подготовку (разработку), так и на обеспечение входящей информацией;

– ошибка формируется в многозвенной цепи. Определяющую роль в нарушении точности играет ошибка самого «неточного» звена;

– границы точности определяются разумным сочетанием: точности исходной информации; структурной и функциональной точности модели; точности вычислительных алгоритмов.

Важнейшим свойством прогнозной системы является то, что будущее значение исследуемого фактора должно быть ограничено определенной областью. Это подтверждается многими исследованиями, выполненными как у нас в стране, так и за рубежом. Неопределенность прогноза по расчету потребной мощности базы деповского ремонта грузовых вагонов значительно усложняет проблему принятия решений. При исследовании динамики изме-

нения мощности деповской базы, разработки планов реконструкции и строительства депо было установлено, что неопределенность прогноза еще не стала важнейшим звеном в перспективном планировании. Решения принимаются в предположении о точном совпадении прогнозных и плановых составляющих, определяющих расчетное значение мощности базы. Допустимые границы прогноза во многом определяются принятым уровнем доверительной вероятности при оценке расчетных значений исследуемых факторов. На рисунке 3.20 показана принципиальная схема несоответствия пропускной способности первого и второго депо при различных уровнях доверительной вероятности.



1 – динамика роста требуемого объема ремонта; 2, 3 – расчетные пропускные способности первого и второго депо; 4, 5 – гистограммы отклонений действительных значений пропускной способности от расчетных с периодом упреждения 5 и 10 лет; 6 – зона «превышения» требуемой пропускной способности второго депо по отношению к первому

Рисунок 3.20 – Принципиальная схема оценки перспективных объемов работы двух вагонных депо при различном уровне доверительной вероятности

Расчетные значения пропускной способности для второго депо были рассчитаны при более высоком уровне доверительной вероятности (см. рисунок 3.20, кривая 1), чем для первого депо (кривая 2). В результате этого депо будут поставлены при одних и тех же исходных условиях в неравные ситуации. Еще в большей степени ситуация усложняется, если темпы роста требуемого объема ремонта различны по типам вагонов и если распределение ошибок прогнозирования имеет свой характер. На рисунке 3.21 приведены гистограммы распределения прогнозного значения плана ремонта по двум типам вагонов. Эти гистограммы соответствуют одному и тому же горизонту прогнозирования. Среднегодовые прогнозные значения плана ремонта для крытых вагонов равны $\bar{N}_{кр}$, а для цистерн – $\bar{N}_{ц}$. Исходя из условия, что $\bar{N}_{ц} > \bar{N}_{кр}$, следует усилить, прежде всего, базу по ремонту цистерн. При условии обеспечения одинакового уровня надежности прогноза расчетные значения плана ремонта для крытых вагонов будут равны $N_{кр}^p$, а для цистерн – $N_{ц}^p$. В данном случае $N_{кр}^p > N_{ц}^p$, а это значит, что прежде всего необходимо развивать базу по ремонту крытых вагонов.

Проблема **распределения ограниченных ресурсов** заслуживает особого внимания с учетом неопределенности прогнозов. Территориальный фактор расположения вагонных депо на сети железных дорог, техническое состояние парка вагонов региона не позволяют получить прогнозы с одинаковым уровнем неопределенности. При расчете требуемого количества ремонтных позиций ВСУ при одной и той же величине программы следует учитывать время простоя вагона на ремонтных позициях.

Одним из важнейших требований, которое предъявляется к модели, является способность к **гибкому реагированию на изменения**, происходящие в транспортной системе (адекватность). Это требование способствует уменьшению систематической ошибки прогноза. Выше было сказано, что на ошибки прогноза влияют также и изменения, происходящие в процессе функционирования транспортной системы. На рисунке 3.22 в качестве примера показан прогноз, полученный по линейной однофакторной модели. Из графика видно, что прогнозирующей системой не была распознана тенденция затухания темпов роста величины инвентарного парка одного из типов вагонов.

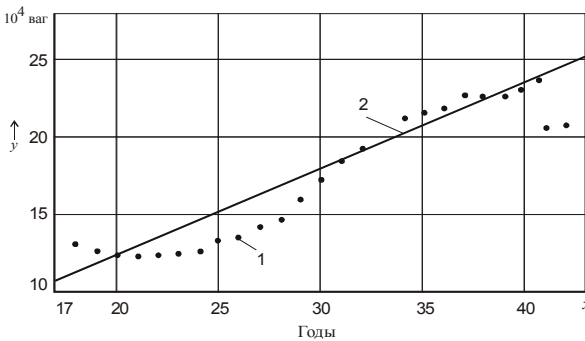


Рисунок 3.22 – Пример прогноза величины инвентарного парка, полученного по однофакторной прогнозной модели:
1 – динамический ряд; 2 – прогнозная линия регрессии

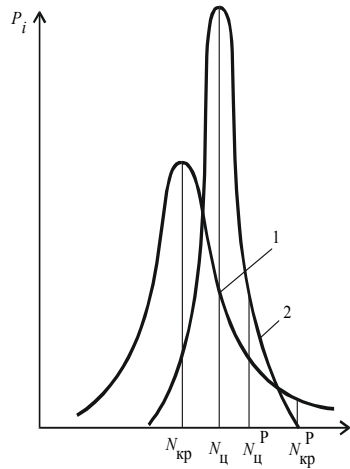


Рисунок 3.21 – Принципиальная схема выбора очередности развития базы:
1, 2 – гистограммы отклонения действительных величин программы ремонта от прогнозных значений для крытых вагонов и цистерн

Точность прогноза находится в прямой зависимости от длины ретроспективного ряда. Длина его должна быть такой, чтобы до минимума свети влияние «шума», вызванного данными начального периода ряда. При этом не должен быть искажен физический процесс рассматриваемого явления. При таком

подходе повышается «вес» информации последних данных временного ряда. На рисунке 3.23 приведены графики изменения прогнозных значений величины инвентарного парка одного из типов вагонов при различном базисном годе. Графики свидетельствуют о том, что прогнозные значения сильно зависят от выбранного базисного года.

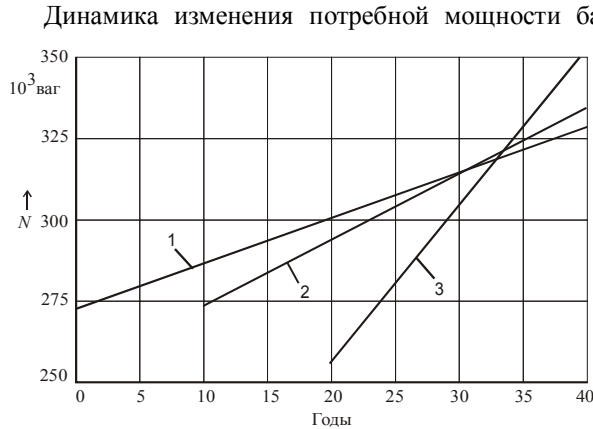


Рисунок 3.23 – Изменение положения линии регрессии в зависимости от выбранного базисного года:
1, 2, 3 – прогнозная модель соответственно для 1, 10 и 20-го базисных годов

Динамика изменения потребной мощности базы деповского ремонта грузовых вагонов определяется воздействием многих факторов. Поэтому одной из задач является разработка **модели оптимальной сложности**. Факторы, которые по мнению эксперта, могут оказывать существенное влияние на прогнозирование мощности вагоноремонтной базы, зачастую находятся в корреляционной зависимости друг с другом.

Поэтому включение в модель большого количества факторов не всегда приводит к уточнению модели. Наиболее часто объем прогнозной модели оценивается следующим образом. Каждый из ранее выбранных влияющих факторов оценивается по степени воздействия на прогнозный показатель. Степень эта определяется коэффициентом корреляции. Затем в модели оставляется фактор с наибольшими значениями коэффициента корреляции. Факторы, которые имеют слабую связь с прогнозируемым показателем, отбрасываются. Далее в модель вводятся факторы, с учетом которых множественный коэффициент корреляции растет. Однако следует отметить, что такая процедура формирования модели дает удовлетворительные результаты только для случая с незначительным количеством влияющих факторов. При значительном же их количестве нет гарантии наилучшей совокупности факторов, так как несущественная связь каждого из них с прогнозируемым показателем не означает, что несущественно и влияние совокупности их.

Для повышения качества прогноза прогнозирующая система должна иметь обратную связь с промежуточными результатами расчетов. В настоящее время такие связи отсутствуют. На рисунке 3.24 приведена про-

стейшая схема функционирования прогнозирующей системы и замкнутой адаптивной прогнозирующей системы.

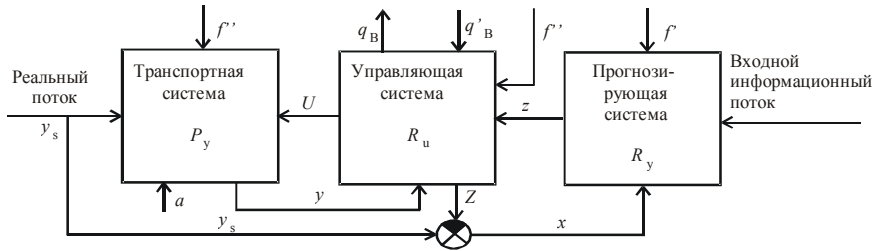


Рисунок 3.24 – Схема функционирования замкнутой адаптивной прогнозирующей системы

3.4.3 Методика оценки "веса" информации при разработке долгосрочных прогнозов

Во многих исследованиях доказана необходимость учета экспоненциального убывания "веса" информации при проникновении внутрь ретроспективного ряда от прогнозного года до начального момента t_1 . В таком случае в интервале времени $t_1 - t_n$ «вес» информации выступает как функция времени $f(t)$:

$$\alpha_i = f(t) = \varphi(t)dt . \quad (3.102)$$

В интервале времени от t_{i-1} до t_{i+1}

$$\alpha_i = \int_{t_{i-1}}^{t_{i+1}} \varphi(t)dt . \quad (3.103)$$

Для соблюдения условия нормирования должно выполняться равенство

$$\varphi(t_{np}, t_n) = \int_{t_{np}}^{t_n} \varphi(t)dt = 1 , \quad (3.104)$$

где t_{np} – номер года, в котором "вес" информации равен нулю.

В предположении об экспоненциальном убывании "веса" информации (рисунок 3.25) получим

$$\varphi(t) = c - d \ln t . \quad (3.105)$$

Постоянные c и d можно определить, используя равенства

$$\varphi(t = t_{np}) = 0 ; \varphi(t_1 = t_{np}) = 1 . \quad (3.106)$$

Решая совместно выражения (3.104) и (3.105) как

$$\left. \begin{aligned} c - d \ln t &= 0; \\ \int_{t_{\text{пр}}}^{t_{\text{н}}} (c - d \ln t) dt &= 1, \end{aligned} \right\} \quad (3.107)$$

получим

$$\left. \begin{aligned} c - d \ln t &= 0; \\ c(t_{\text{пр}} - t_{\text{н}}) - d(t_{\text{пр}} \ln \frac{t_{\text{пр}}}{e} - t_{\text{н}} \ln \frac{t_{\text{н}}}{e}) &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (3.108)$$

Из (3.104) следует, что

$$d = \frac{1}{t_{\text{пр}} - \ln 2,718 t_{\text{пр}}}, \text{ или } c = d \ln t_{\text{пр}}; \quad (3.109)$$

$$d = \frac{1}{t_{\text{пр}} - 2,3 \lg 2,718 t_{\text{пр}}}, \quad c = 2,3 d \lg t_{\text{пр}}. \quad (3.110)$$

График зависимости $\alpha_i = f(t_{\text{пр}})$ показан на рисунке 3.26.

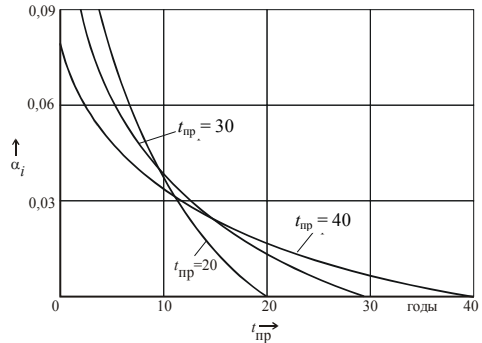
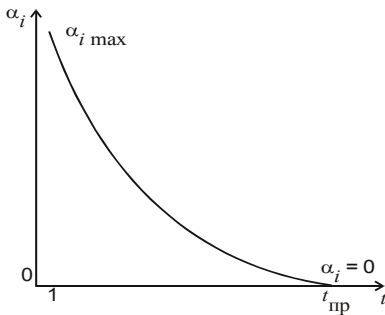


Рисунок 3.25 – График закономерности изменения «веса» информации

Рисунок 3.26 – Графики зависимости $\alpha_i = f(t_{\text{пр}})$

В таблице 3.24 приведены значения «весов» информации в зависимости от продолжительности периода $t_{\text{пр}}$.

Темп падения «веса» информации неодинаков на всем диапазоне изменения $t_{\text{пр}}$. Наиболее интенсивно он падает на 1/3 от конца ретроспективного ряда. Значение $t_{\text{пр}}$ для различных транспортных систем находится в пределах от 20 до 35 лет. Для учета «веса» информации в прогнозировании величины инвентарного парка целесообразно эту величину ограничить 20 годами. Использование «веса» информации позволяет значительно повысить точность прогноза и ограничить

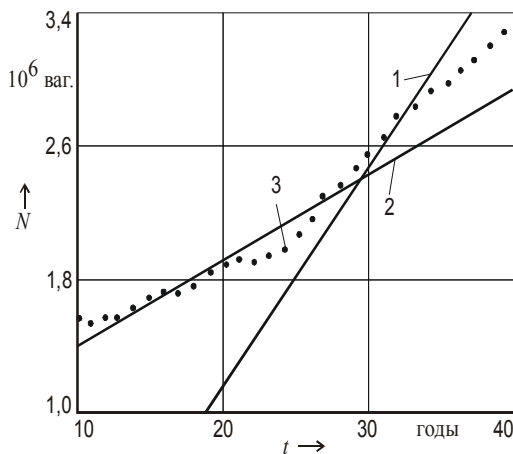
влияние длительности ретроспективного ряда. На рисунке 3.27 представлены графики изменения прогнозных значений величины инвентарного парка одного из типов вагонов с учетом "веса" информации и без него.

Таблица 3.24 – Значение "веса" информации

№ п. п.	"Вес" информации при значениях $t_{пр}$										
	20	30	41*		20	30	41		20	30	41
1	0,0000	0,0000	0,00000	15	0,0665	0,0222	0,01074	29		0,1021	0,02952
2	0,0028	0,0020	0,00062	16	0,0771	0,0245	0,01170	30		0,1366	0,03160
3	0,0057	0,0024	0,00126	17	0,0902	0,0269	0,01270	31			0,03387
4	0,0068	0,0037	0,00203	18	0,1078	0,0296	0,01374	32			0,03637
5	0,0121	0,0050	0,00271	19	0,1341	0,0325	0,01483	33			0,03915
6	0,0156	0,0064	0,00340	20	0,1867	0,0356	0,01597	34			0,04227
7	0,0193	0,0078	0,00412	21		0,0390	0,01716	38			0,04585
8	0,0234	0,0093	0,00485	22		0,0429	0,01934	36			0,05003
9	0,0278	0,0109	0,00561	23		0,0472	0,01972	37			0,05503
10	0,0326	0,0125	0,00639	24		0,0521	0,02111	38			0,06118
11	0,0378	0,0143	0,00720	25		0,0579	0,02258	39			0,06951
12	0,0437	0,0161	0,00803	26		0,0648	0,02414	40			0,08101
13	0,502	0,0180	0,00892	27		0,0734	0,02581	41			0,10690
14	0,0578	0,0200	0,00981	28		0,0849	0,02760				

* Значение $t_{пр} = 41$, так как длина ретроспективного ряда по анализу динамики изменения величины инвентарного парка на начальном этапе составляла 41 год.

Рисунок 3.27 – Графики изменения величины инвентарного парка с учетом «веса» информации и без него:
 1 – с учетом «веса» информации;
 2 – без него; 3 – статистические данные



3.4.4 Корреляционные функции и авторегрессионные модели в прогнозировании

Как известно, динамические ряды обладают сложной структурой, которой присущи стационарные и нестационарные составляющие. Важнейшим вопросом для таких рядов является установление возможности описания его

как функции времени. Если ряд неслучаен, то существует определенный тип зависимости между его членами. Одной из основных характеристик такой оценки является корреляция.

Для функции $f[x(t_1), x(t_2), x(t_3), \dots, x(t_n)]$ от n выборочных значений $x(t_1), x(t_2), x(t_3), \dots, x(t_n)$ зависимость

$$Mf = Mf[x(t_1), \dots, x(t_n)] = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, \dots, x_n) d\Phi_{(n)}(x_1, t_1; \dots; x_n, t_n) \quad (3.111)$$

определяет среднее значение по множеству наблюдений.

Корреляционной функцией процесса $f[x(t_1), \dots, x(t_n)]$ называют функцию двух аргументов $-t_i$ и t_{i+1} . Эта функция для каждой пары выбранных моментов времени определяется как математическое ожидание произведения двух величин $-x(t_1)$ и $x(t_2)$:

$$\kappa_x(t_1, t_2) = M[x(t_1)x(t_2)]. \quad (3.112)$$

Автокорреляционная функция зависит от одной переменной $\tau = t_2 - t_1$:

$$k_{\Sigma} = \frac{\sum_{t=1}^{n-\tau} y_t y_{t+\tau} - (n-\tau) \bar{y}_1 \bar{y}_2}{\sqrt{[\sum_{t=1}^{n-\tau} y_t^2 - (n-\tau) \bar{y}_1^2][\sum_{t=1}^{n-\tau} y_{t+\tau}^2 - (n-\tau) \bar{y}_2^2]}}, \quad (3.113)$$

где $y_t, y_{t+\tau}$ – значения динамического ряда в моменты времени, разделенные интервалом τ ; n – число членов ряда.

Из формулы (3.113) видно, что при $\tau = 0$ $k_{\tau} = 1$, а при увеличении τ автокорреляционная функция уменьшается, и она характеризует степень связанности двух значений динамического ряда, разделенных интервалом τ .

Наличие корреляционной функции (аналитической и графической) позволяет дать определенную характеристику исследуемому динамическому ряду. Если случайный процесс содержит периодическую составляющую с частотой ν , то и корреляционная функция будет содержать периодическую составляющую такой же частоты. Если корреляционная функция быстро убывает, то это свидетельствует о том, что связь между последующим $y(t + \tau)$ и предыдущим $y(t)$ значениями ряда слабая. И для таких рядов нет оснований считать их стационарными.

Известная степень риска допускается при выборе величины τ . Исследования, выполненные при анализе транспортных потоков, показали, что τ не должна превышать 0,5 длины исходного ряда. Для анализа рядов динамики, характеризующих изменение величины инвентарных парков вагонов в интервале 41 год, $\tau = 4$. С учетом этого были рассчитаны значения корреляционных функций, графическое отображение которых представлено на рисунке 3.28.

Полученные результаты позволяют сделать следующие **выводы**, которые имеют практическую ценность при разработке оптимальной прогнозной модели:

1 Наибольшей степенью связанности между смещенными относительно друг друга значениями ряда обладают цистерны. На протяжении достаточно продолжительного периода времени (до 15 лет) значение функции находится в пределах от 1,000 до 0,750. Наименьшая степень связанности между смещенными относительно друг друга значениями ряда характерна для крытых вагонов. Таким образом, следует ожидать, что и в перспективе наибольшей степенью неопределенности будет характеризоваться парк крытых вагонов. Поэтому при проектировании базы для ремонта крытых вагонов необходимо заранее предусматривать резервы.

2 Время корреляции для цистерн, полувагонов, платформ и крытых вагонов соответственно равно 14–15, 12–13, 12–13 и 5–6 лет. Это свидетельствует о том, что для прогнозирования величины парка цистерн, полувагонов и платформ можно использовать достаточно простые модели.

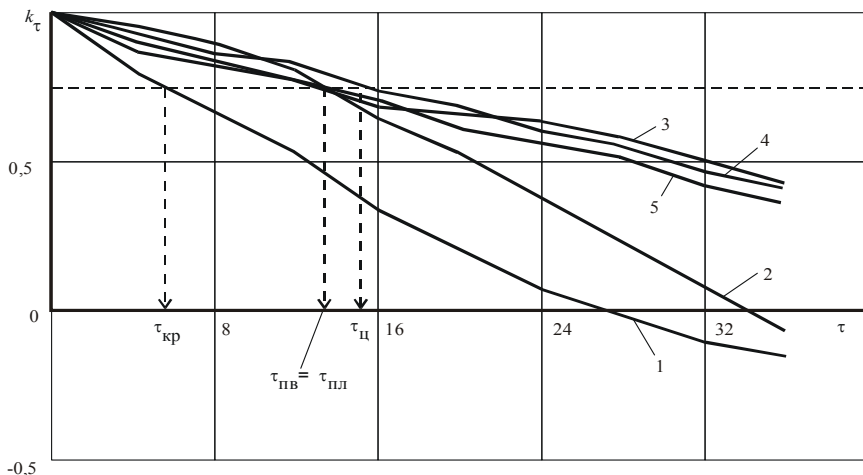


Рисунок 3.28 – Графики корреляционных функций для различных типов вагонов:

1, 2, 3, 4, 5 – соответственно для крытых вагонов, платформ, полувагонов, цистерн и суммарного парка

3.4.5 Прогнозирование методами корреляционного анализа

В настоящее время широкое место в теории прогнозирования занимают **методы парной и множественной корреляции**. Они обладают рядом существенных достоинств: сравнительная простота реализации на ЭВМ, легкость получения прогнозных зависимостей, незначительные затраты труда на подготовку исходной информации, высокая степень объективности результатов и др.

Однако не все динамические процессы можно описывать корреляционно-регрессионными моделями. Эти модели могут быть применимы в том случае, если: тенденции ретроспективного ряда не претерпят существенных изменений в будущем; динамическому ряду несвойственны скачкообразные изменения аргумента; между факторами, влияющими на значение аргумента, отсутствует корреляционная связь; исходные данные обладают свойством "однородности".

В последнее время исследователи все чаще обращаются к **многофакторным моделям**. Однако наряду с известными преимуществами эти модели обладают и существенными недостатками. Одним из главных является довольно часто встречающаяся коррелируемость факторов друг с другом. Чем сильнее эта связь, тем в меньшей степени проявляется их влияние на прогнозируемую величину. Все это в конечном итоге оказывает решающее значение на устойчивость коэффициентов линий регрессии. Добавление или уменьшение объема многофакторной модели хотя бы на один фактор может сильно изменить прогнозную модель. При этом зачастую изменяются не только величины коэффициентов регрессии, но и направление их влияния. Зачастую мультиколлинеарность проявляется не по всей совокупности факторов, а только для отдельных групп. Это в еще большей степени усложняет решение задачи. В настоящее время критерием целесообразности включения фактора в модель является **коэффициент корреляции**. Если при включении фактора коэффициент растет, то причинная связь признается существенной. Однако причинно-следственный эффект не всегда выступает явно. Поэтому, если исследователь убежден в реальности (адекватности) однофакторной модели, ее следует принимать в качестве прогнозной.

Линейной однофакторной прогнозной модели характерна зависимость типа

$$y = a + bx, \quad (3.114)$$

где x – фактор, который оказывает определяющее воздействие на прогнозируемую величину; a, b – неизвестные коэффициенты.

Значительно сложнее прогнозировать величину y при нелинейности ее связи с переменной x . В таком случае исследователи с помощью преобразований приходят к линейной функции. Например, зависимости

$$y_1 = ab^x;$$

$$y_2 = ax^b$$

в результате логарифмирования легко сводятся к линейным

$$\lg y_1 = \lg a + x \lg b;$$

$$\lg y_2 = \lg a + b \lg x.$$

Обозначив

$$\lg y_1 = z_1; \lg y_2 = z_2; \lg a = a_0; \lg b_1 = a_1; \lg x = t,$$

получим

$$z_1 = a_0 + a_1x; \quad z_2 = a_0 + b_1t. \quad (3.115)$$

Нахождение линии регрессии сводится к определению коэффициентов a и b . Эта задача широко решается с применением метода наименьших квадратов. Исходным условием определения коэффициентов являются

$$\frac{\partial y}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial y}{\partial b} = 0, \quad (3.116)$$

или

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n (a + bx_i) &= 0; \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n (a + bx_i) x_i &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (3.117)$$

где y_i – статистические значения прогнозируемого показателя к моменту времени t_i ; n – число наблюдений.

Решение системы уравнений (3.117) относительно a и b приводит к тому, что

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad (3.118)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}. \quad (3.119)$$

Для оценки тесноты связи между величинами y и x вычисляется **выборочный коэффициент корреляции**

$$r = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right] / \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}. \quad (3.120)$$

При определенных условиях между исследуемыми величинами существует следующая связь:

- $0 \leq |r| \leq 0,20$ – практически отсутствует;
- $0,20 \leq |r| \leq 0,50$ – слабая;
- $0,50 \leq |r| \leq 0,75$ – средняя;
- $0,75 \leq |r| \leq 0,95$ – сильная;
- $0,95 \leq |r| \leq 1,00$ – практически функциональная.

Как уже указывалось выше, прогнозная модель не может быть абсолютно точной. Поэтому для нее характерны ошибки, которые определяются отклонениями фактических и прогнозных значений исследуемой величины.

Стандартная ошибка прогноза

$$S_y = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (y_i - a - bx)^2 \right] / (n - 2)}. \quad (3.121)$$

При большом значении n

$$S_y = \sigma_y \sqrt{1 - r^2}, \quad (3.122)$$

где

$$\sigma_y = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right] / n}. \quad (3.123)$$

Любое прогнозное значение исследуемого фактора находится в доверительном интервале. Величина его зависит от принятого уровня доверительной вероятности. **Доверительный интервал** для любого значения y_i^n

$$\omega_{н.в} = y_i^n - \frac{t_{g, n-2} S_y}{\sqrt{n-2}} \sqrt{1 + \left[n(x_b - \bar{x})^2 \right] / \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.124)$$

где $\omega_{н.в}$ – нижний и верхний доверительные интервалы; $t_{g, n-2}$ – нормированное отклонение распределения Стьюдента.

Заканчивается анализ проверкой полученных коэффициентов на **устойчивость**:

$$k_a = a / \sigma_a \geq 3; \quad (3.125)$$

$$k_b = b / \sigma_b \geq 3, \quad (3.126)$$

где σ_a, σ_b – соответственно средние квадратические отклонения по факторам a и b .

Основной областью применения однофакторных корреляционных моделей является предварительная ранжировка факторов, которые оказывают влияние на изменения прогнозируемой величины, например, оценка факторов, определяющих изменение по численности парка грузовых вагонов: грузооборот железных дорог, участковая и техническая скорости, масса поездов, нагрузка на ось и т. д.

3.4.6 Прогнозирование методами множественной регрессии

Анализируя практические результаты формирования базы для деповского ремонта грузовых вагонов, можно утверждать, что они являются следствием воздействия многих факторов. В связи с этим одним из возможных методов прогнозирования является **метод множественной регрессии**.

Разработка прогнозной модели динамики изменения исследуемого фактора состоит в *нахождении математической зависимости*, которая бы отражала влияние всех основных факторов. В общем виде эта зависимость может быть представлена как

$$N_{\text{деп.}ij}^{\text{рем}} = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (3.127)$$

где $N_{\text{деп.}ij}^{\text{рем}}$ – потребная мощность базы деповского ремонта грузовых вагонов i -го типа на j -й горизонт прогнозирования; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – факторы, определяющие величину $N_{\text{деп.}ij}^{\text{рем}}$.

В процессе формирования множественной регрессионной модели необходимо решить следующие задачи:

1 Выбор основных факторов ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$), определяющих значение исследуемой величины. Формирование совокупности факторов целесообразно проводить экспертным оцениванием. Каждый из факторов задается ретроспективным рядом необходимой длины.

2 Оценка основных показателей для совокупности данных по каждому фактору.

3 Расчет коэффициентов корреляции между исследуемой величиной и факторами, а также между собой.

4 Расчет совокупного коэффициента корреляции.

5 Установление аппроксимирующих зависимостей для исследуемой величины и влияющих факторов.

6 Определение уравнения множественной регрессии в стандартизованном масштабе.

7 Формирование модели множественной регрессии. При наличии большого количества факторов необходимо в модель включать не все факторы сразу, а постепенно, увеличивая их от одного до M . При этом необходимо отправляться от ведущего фактора.

Из изложенного следует, что важнейшим моментом в прогнозировании методами множественной регрессии является формирование временного ряда исходных данных. Однако известно, что в течение длительного периода времени наличная мощность базы деповского ремонта грузовых вагонов не соответствовала той потребности в ремонте, которой обладал парк вагонов. Поэтому разработка прогноза мощности базы, основанного на имеющемся статистическом материале, не позволит получить объективный, исходя из потребности парка, результат. Вместе с тем прогнозирование мето-

дами множественной регрессии потребного парка грузовых вагонов является весьма эффективным. Это определяется прежде всего тем, что экспертные оценки позволяют обосновать достаточно узкий круг факторов, которые определяют величину парка вагонов.

Экспертная оценка причинно-следственной связи динамики изменения величины инвентарного парка и факторов, определяющих ее, позволила установить основные из них: грузооборот железных дорог (x_1); количество отправленного груза (x_2); средняя густота перевозок грузов (x_3); пассажирооборот (x_4); пассажирооборот в дальнем сообщении (x_5); отправлено пассажиров (x_6), в т. ч. в дальнем сообщении (x_7); средняя густота перевозки пассажиров (x_8); средняя участковая скорость грузовых поездов (x_9); средняя техническая скорость грузовых поездов (x_{10}); средняя масса брутто грузового поезда (x_{11}); протяженность железнодорожных линий (x_{12}); густота железнодорожных линий (x_{13}); густота населенности территории (x_{14}); оборот вагона (x_{15}); среднесуточный пробег грузового вагона (x_{16}); статическая нагрузка на вагон (x_{17}); статическая нагрузка на ось (x_{18}).

Для каждого временного ряда определялось **среднее арифметическое значение фактора** (таблица 3.25). Например, для j -го фактора

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}, \quad (3.128)$$

и среднее квадратическое отклонение (таблица 3.26)

$$\sigma_j = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_j - x_{ij})^2}{n-1} \right]}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, M}. \quad (3.129)$$

Т а б л и ц а 3.25 – Средние арифметические значения факторов

x_j	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
\bar{x}_i	3162,83	3502,82	22,63	316,59	229,97	3487,65	348,62	2,29	32,42
x_i	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}
\bar{x}_j	45,24	2762,86	139,67	6,24	11,70	6,01	242,86	60,89	15,20

Т а б л и ц а 3.26 – Средние квадратические отклонения факторов

x_i	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
σ_{x_i}	520,10	458,20	3,17	50,10	33,01	49,05	39,06	0,28	1,24
x_i	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}
σ_{x_j}	1,30	181,40	4,11	0,21	0,53	0,43	11,30	2,20	0,39

Расчет коэффициентов парной корреляции производится по формуле

$$r_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_k)(x_{ji} - \bar{x}_j)}{(n-1)\sigma_k\sigma_j}, \quad j = \overline{1, M}; \quad k = \overline{1, M}. \quad (3.130)$$

Полученные значения коэффициентов парной корреляции приведены в таблице 3.27. Они свидетельствуют о весьма тесной связи рассматриваемых

факторов друг с другом, что указывает на возможность формирования модели со значительно меньшим количеством факторов, чем 18. Такая модель будет в достаточной степени определять динамику изменения величины инвентарного парка. Высокий уровень коэффициентов парной корреляции свидетельствует также и о том, что функция $y = f(x_1, x_2, \dots, x_{18})$ достаточно полно описывается линейной зависимостью вида

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_mx_m. \quad (3.131)$$

Наличие массива коэффициентов парной корреляции позволяет рассчитать совокупный коэффициент корреляции

$$R = \sqrt{\frac{\Delta_1}{\Delta}}; \quad (3.132)$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1M} & 0 & 1 & r_{23} & r_{24} & \dots & r_{2M} \\ 1 & r_{23} & \dots & r_{2M} & r_{21} & r_{32} & 1 & r_{34} & \dots & r_{3M} \\ r_{32} & 1 & \dots & r_{3M} & r_{31} & r_{42} & r_{43} & 1 & \dots & r_{4M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{M2} & r_{M3} & \dots & 1 & r_{M1} & r_{M2} & r_{M3} & r_{M4} & \dots & 1 \end{vmatrix}, \quad \Delta = \begin{vmatrix} r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1M} & 0 & 1 & r_{23} & r_{24} & \dots & r_{2M} \\ 1 & r_{23} & \dots & r_{2M} & r_{21} & r_{32} & 1 & r_{34} & \dots & r_{3M} \\ r_{32} & 1 & \dots & r_{3M} & r_{31} & r_{42} & r_{43} & 1 & \dots & r_{4M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{M2} & r_{M3} & \dots & 1 & r_{M1} & r_{M2} & r_{M3} & r_{M4} & \dots & 1 \end{vmatrix} \quad (3.133)$$

Совокупный коэффициент корреляции, равный 1,0, свидетельствует о том, что выбранные факторы в полной мере определяют величину инвентарного парка.

Для исследования временных рядов наиболее часто используются следующие функции:

$$x_i = a_0 + a_1t; \quad (3.134)$$

$$x_i = a_0 + a_1t + a_2t^2; \quad (3.135)$$

$$x_i = a_0t^{a_1}; \quad (3.136)$$

$$x_i = a_0e^{a_1t}; \quad (3.137)$$

$$x_i = a_0t^{a_1}e^{a_2t}. \quad (3.138)$$

Решение о наилучшей функции принимается по критерию Фишера

$$F_j = \sigma_j^2 / \hat{\sigma}_j^2, \quad (3.139)$$

где σ_j^2 – полная дисперсия по j -му фактору,

$$\sigma_j^2 = \left[\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \right] / (n-1); \quad (3.140)$$

$\hat{\sigma}_j^2$ – остаточная дисперсия,

$$\hat{\sigma}_j^2 = \left[\sum_{i=1}^n (\hat{x}_{ij} - x_{ij})^2 \right] / (n-1). \quad (3.141)$$

Таблица 3.27 – Коэффициенты корреляции

	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}
x_0	1,00	0,98	0,97	0,97	0,97	0,98	0,95	0,92	0,97	-0,86	-0,87	0,95	0,99	0,96	0,99	0,98	-0,77	0,95	0,99
x_1	0,98	1,00	1,00	1,00	0,98	0,99	0,97	0,93	0,98	-0,78	-0,76	0,95	0,96	0,94	0,96	0,93	-0,68	0,97	0,98
x_2	0,97	1,00	1,00	1,00	0,97	0,98	0,96	0,92	0,97	-0,75	-0,72	0,94	0,94	0,92	0,94	0,90	-0,66	0,97	0,96
x_3	0,97	1,00	1,00	1,00	0,97	0,98	0,95	0,91	0,97	-0,76	-0,72	0,93	0,94	0,91	0,93	0,90	-0,67	0,97	0,96
x_4	0,97	0,98	0,97	0,97	1,00	0,99	0,99	0,98	0,99	-0,76	-0,79	0,98	0,98	0,97	0,97	0,94	-0,63	0,97	0,97
x_5	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99	1,00	0,97	0,96	0,99	-0,79	-0,80	0,97	0,98	0,96	0,97	0,94	-0,67	0,98	0,98
x_6	0,95	0,97	0,96	0,95	0,99	0,97	1,00	0,99	0,97	-0,68	-0,75	0,99	0,96	0,97	0,96	0,92	-0,55	0,92	0,93
x_7	0,92	0,93	0,92	0,91	0,98	0,96	0,99	1,00	0,96	-0,66	-0,76	0,99	0,95	0,97	0,95	0,91	-0,50	0,91	0,91
x_8	0,97	0,98	0,97	0,97	0,99	0,99	0,97	0,96	1,00	-0,78	-0,80	0,97	0,97	0,95	0,96	0,94	-0,66	0,97	0,97
x_9	-0,86	-0,78	-0,75	-0,75	-0,76	-0,79	-0,68	-0,66	-0,78	1,00	0,93	-0,73	-0,84	-0,77	-0,84	-0,88	0,92	-0,81	-0,88
x_{10}	-0,87	-0,76	-0,72	-0,72	-0,79	-0,80	-0,75	-0,76	-0,80	0,93	1,00	-0,81	-0,89	-0,85	-0,89	-0,92	0,83	-0,75	-0,86
x_{11}	0,95	0,95	0,94	0,93	0,98	0,97	0,99	0,99	0,97	-0,73	-0,81	1,00	0,98	0,98	0,98	0,95	-0,58	0,91	0,94
x_{12}	0,99	0,96	0,94	0,94	0,98	0,98	0,96	0,95	0,97	-0,84	-0,89	0,98	1,00	0,98	1,00	0,99	-0,72	0,94	0,98
x_{13}	0,96	0,94	0,92	0,91	0,97	0,96	0,97	0,97	0,95	-0,77	-0,85	0,98	0,98	1,00	0,98	0,97	-0,65	0,90	0,95
x_{14}	0,99	0,96	0,94	0,93	0,97	0,97	0,96	0,95	0,96	-0,84	-0,89	0,98	1,00	0,98	1,00	0,99	-0,72	0,92	0,98
x_{15}	0,98	0,93	0,90	0,90	0,94	0,94	0,92	0,91	0,94	-0,88	-0,92	0,95	0,99	0,97	0,99	1,00	-0,77	0,91	0,97
x_{16}	-0,77	-0,68	-0,66	-0,67	-0,63	-0,67	-0,55	-0,50	-0,66	0,92	0,83	-0,58	-0,72	-0,65	-0,72	-0,77	1,00	-0,69	-0,78
x_{17}	0,95	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,92	0,91	0,97	-0,81	-0,75	0,91	0,94	0,90	0,92	0,91	-0,69	1,00	0,97
x_{18}	0,99	0,98	0,96	0,96	0,97	0,98	0,93	0,91	0,97	-0,88	-0,86	0,94	0,98	0,95	0,98	0,97	-0,78	0,97	1,00

Наилучшей считается та функция, при которой коэффициент Фишера принимает наибольшее значение. Результаты расчета аппроксимирующих функций для исследуемой величины ($N_{\text{инв}}$) и влияющих на нее факторов (x_i , $i = 1, 18$) приведены на рисунках 3.29–3.46. Полученная по временному ряду прогнозная модель изменения величины инвентарного парка грузовых вагонов имеет следующий вид:

$$N_{\text{инв}} = 859\,600 + 56\,190t + 875t^2. \quad (3.142)$$

Прогнозное значение $N_{\text{инв}}$ для горизонта прогнозирования (21 + 1 год) равно 1 672 482 вагона, а среднее квадратическое отклонение – 232 300 вагонов.

Важнейшее место в прогнозировании занимает установление **линии множественной регрессии**. Наличие такой зависимости позволяет по динамике изменения важнейших факторов судить о прогнозном значении величины инвентарного парка.

В теории прогнозирования методами множественной регрессии наиболее часто используются следующие **модели**:

– л и н е й н а я –

$$y_{\text{л}} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_Mx_M; \quad (3.143)$$

– с т е п е н н а я –

$$y_{\text{с}} = a_1x_1^{a_2} x_2^{a_3} x_3^{a_4} \dots x_M^{a_{M+1}}; \quad (3.144)$$

– э к с п о н е н ц и а л ь н а я –

$$y_{\text{э}} = a_1e^{a_2x_1} e^{a_3x_2} e^{a_4x_3} \dots e_M^{a_{M+1}x_{M+1}}. \quad (3.145)$$

Коэффициенты в моделях (3.143)–(3.145) находят решением системы уравнений по методу наименьших квадратов.

В результате выполненных исследований и расчетов были получены следующие прогнозные модели, которые включают в себя все 18 факторов:

$$y_{\text{л}} = 453100 + 8125x_1 + 47,73x_2 + 41880x_3 - 1388x_4 + 1020x_5 - 13,10x_6 + 3010x_7 - 201400x_8 + 22960x_9 + 4154x_{10} - 137,5x_{11} + 8559x_{12} - 102400x_{13} + 79910x_{14} + 23070x_{15} - 2300x_{16} - 28570x_{17} + 133200x_{18}; \quad (3.146)$$

$$y_{\text{с}} = 0,7 \cdot 10^{18} x_1^{-1,43} x_2^{1,49} x_3^{2,12} x_4^{-2,85} x_5^{2,24} x_6^{0,24} x_7^{-3,69} x_8^{-0,49} x_9^{-0,26} x_{10}^{0,89} \times x_{11}^{-4,89} x_{12}^{1,37} x_{13}^{-3,59} x_{14}^{-1,97} x_{15}^{5,36} x_{16}^{0,08} x_{17}^{-5,9} x_{18}^{0,76}; \quad (3.147)$$

$$y_{\text{э}} = 1214e^{-0,0018 \cdot 1} e^{-0,0006 \cdot 2} e^{0,3085 \cdot 3} e^{0,0006 \cdot 4} e^{0,0035 \cdot 5} e^{0,0006 \cdot 6} e^{-0,0037 \cdot 7} e^{0,0688 \cdot 8} \times e^{0,0546 \cdot 9} e^{-0,0565 \cdot 10} e^{-0,0015 \cdot 11} e^{0,0029 \cdot 12} e^{-0,2062 \cdot 13} e^{0,7725 \cdot 14} e^{-0,1843 \cdot 15} e^{0,0011 \cdot 16} \times e^{-0,0115 \cdot 17} e^{0,2737 \cdot 18}. \quad (3.148)$$

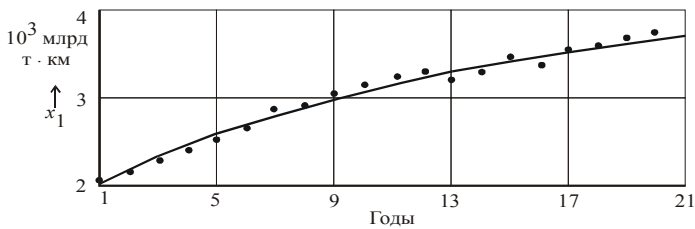


Рисунок 3.29 –
График изменения грузооборота железных дорог

Рисунок 3.30 –
График изменения количества отправленного груза

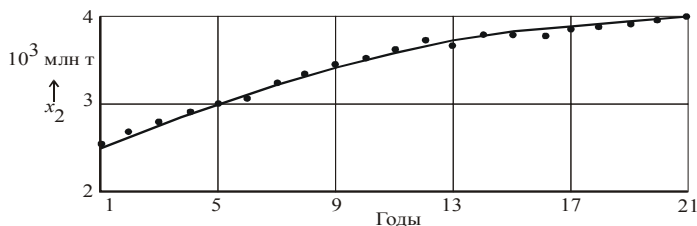


Рисунок 3.31 –
График изменения средней плотности перевозок грузов

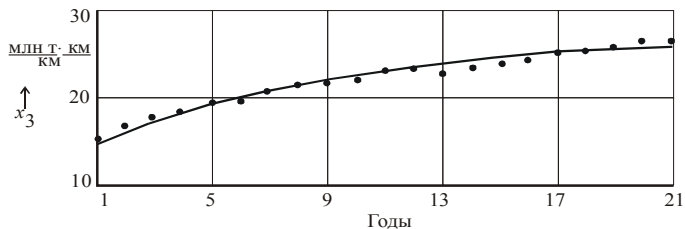


Рисунок 3.31 –
График изменения средней плотности перевозок грузов

Рисунок 3.32 –
График изменения пассажирооборота

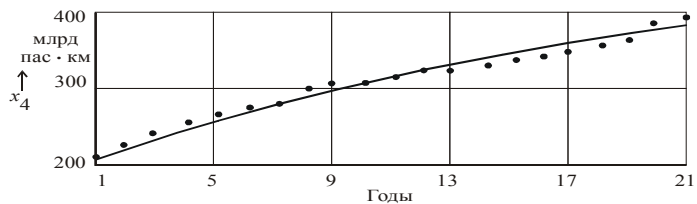


Рисунок 3.33 –
График изменения пассажирооборота в дальнем сообщении

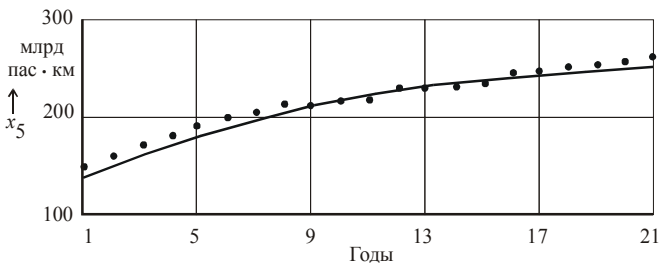


Рисунок 3.33 –
График изменения пассажирооборота в дальнем сообщении

Рисунок 3.34 –
График изменения
количества
отправленных
пассажигов

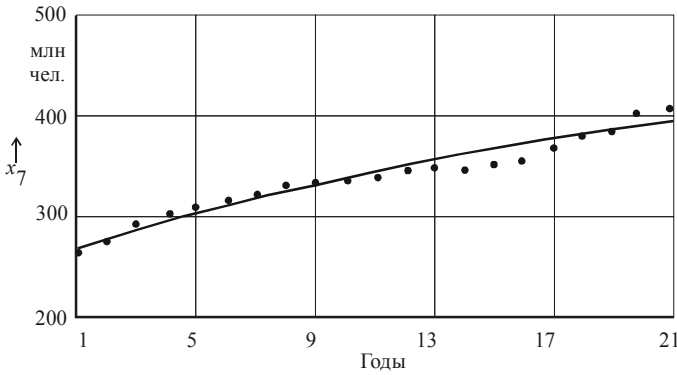
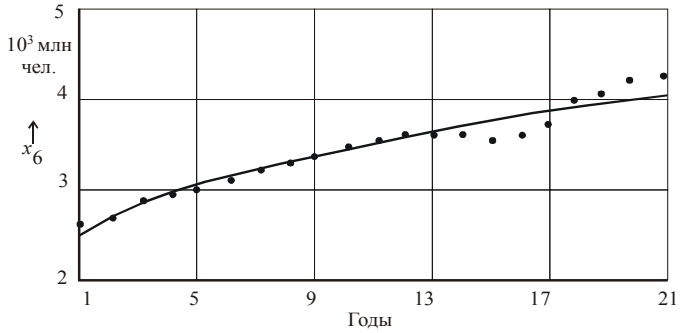


Рисунок 3.35 –
График измене-
ния количе-
ства отпра-
вленных пас-
сажигов в
дальнем со-
общении

Рисунок 3.36 –
График изменения
средней густоты
перевозки пасса-
жигов

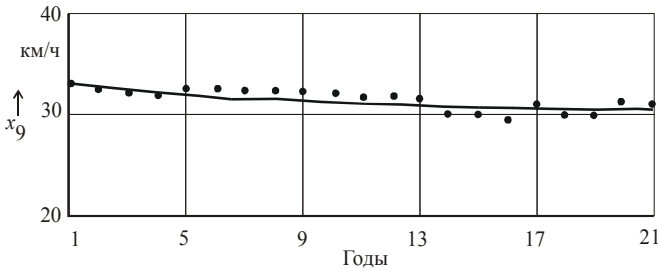
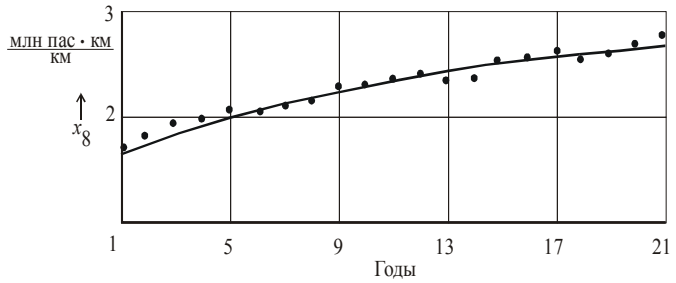


Рисунок 3.37 –
График измене-
ния средней
участковой
скорости гру-
зовых поездов

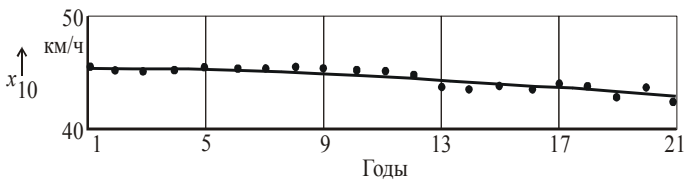


Рисунок 3.38 – График изменения средней технической скорости грузовых поездов

Рисунок 3.39 – График изменения среднего веса грузового поезда

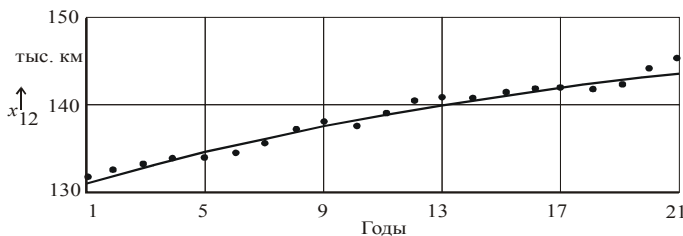
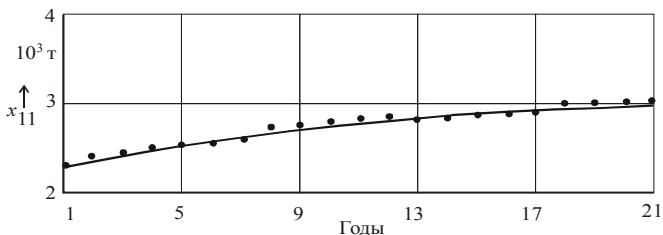


Рисунок 3.40 – График изменения протяженности железнодорожных линий

Рисунок 3.41 – График изменения плотности железнодорожных линий

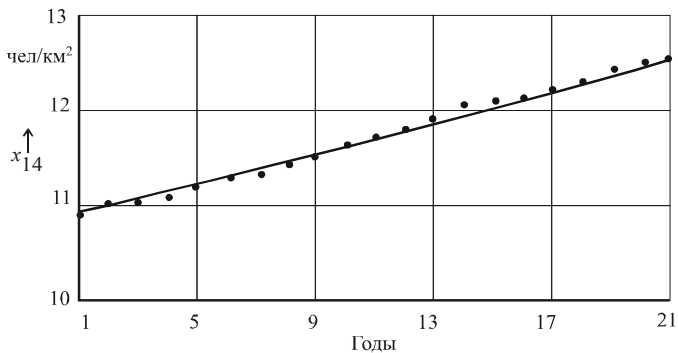
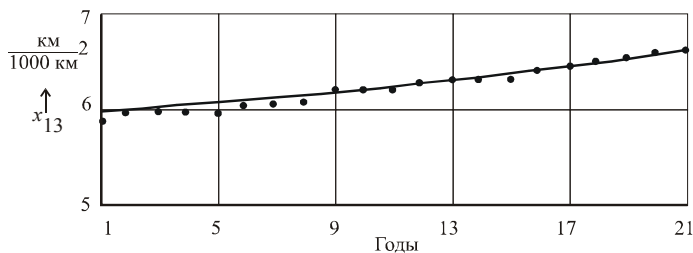


Рисунок 3.42 – График изменения плотности населения

Рисунок 3.43 –
График измене-
ния оборота ва-
гона

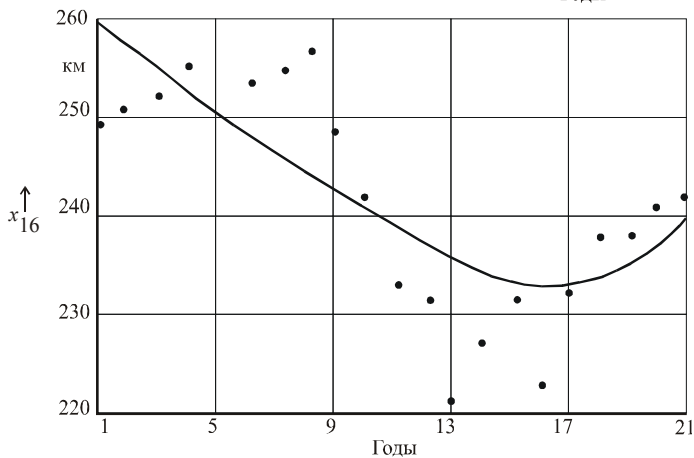
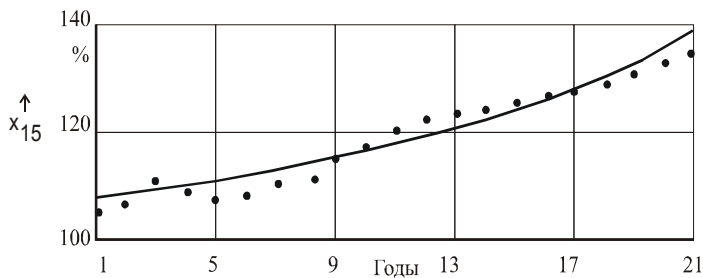


Рисунок 4.44 –
График измене-
ния среднего су-
точного про-
бега грузового
вагона

Рисунок 3.45 –
График измене-
ния статической
нагрузки на ва-
гон

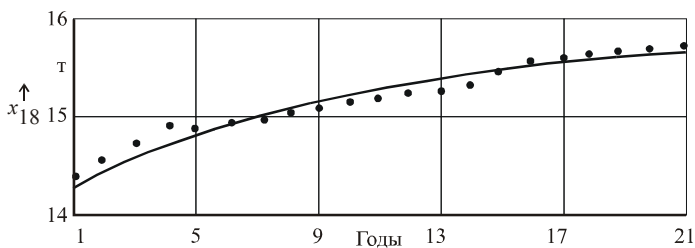
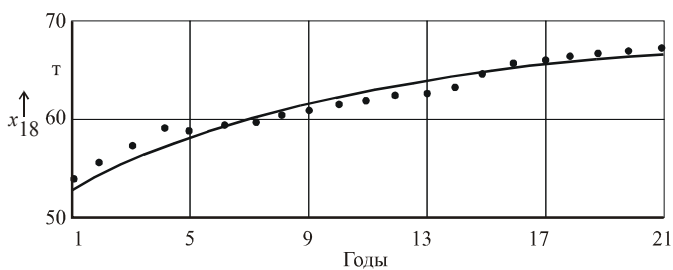


Рисунок 3.46 –
График измене-
ния статиче-
ской нагрузки
на ось

Для рассматриваемого примера прогнозные значения инвентарного парка на $(21 + 1)$ -й год соответственно равны: $y_{л} = 1\ 623\ 165$ ваг., $y_{с} = 1\ 520\ 719$ ваг., $y_{в} = 1\ 723\ 481$ ваг.

Как видно из полученных результатов, линейная модель дает наиболее близкое к прогнозному значение, рассчитанное по временному ряду: $y_{в} = 1\ 672\ 482$ ваг., $\sigma_{y_{в}} = 232\ 300$ ваг., $y_{л} = 1\ 623\ 165$ ваг., $\sigma_{y_{л}} = 233\ 557$ ваг.

Наличие значений $y_{в}$, $\sigma_{y_{в}}$ и $y_{л}$, $\sigma_{y_{л}}$ еще раз подтверждает сделанный ранее вывод о том, что рассматриваемый процесс изменения величины инвентарного парка грузовых вагонов достаточно хорошо описывается линейной моделью.

Известно, что любая модель имеет оптимальную сложность. Наилучшей считается та модель, которая с наименьшим числом факторов описывает исследуемый процесс с заранее заданной точностью. Существуют различные подходы к выбору модели оптимальной сложности. Для рассматриваемой задачи обоснование рационального объема модели целесообразно производить с использованием множественной прямолинейной регрессии, выраженной в стандартизованном масштабе:

$$\bar{t}_y = \beta_1 t_1 + \beta_2 t_2 + \beta_3 t_3 + \dots + \beta_m t_m, \quad (3.149)$$

где $t_1, t_2, t_3, \dots, t_m$ – стандартизованные значения факторов $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$; \bar{t}_y – среднее значение стандартизованной переменной t_y , соответствующее заданным значениям переменных $t_1, t_2, t_3, \dots, t_m$; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_m$ – стандартизованные коэффициенты множественной регрессии.

Формула перевода натуральных значений факторов в стандартизованные имеет вид

$$t_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_{x_i}}, \quad (3.150)$$

где x_i – значение i -го фактора в натуральном масштабе; \bar{x}_i – среднее значение i -го фактора в натуральном масштабе; σ_{x_i} – среднее квадратическое значение i -го фактора.

Значения стандартизованных коэффициентов определяются решением системы нормальных уравнений

$$\begin{aligned} r_{y_1} &= \beta_1 + \beta_2 r_{21} + \beta_3 r_{31} + \beta_4 r_{41} + \dots + \beta_m r_{m1}; \\ r_{y_2} &= \beta_1 r_{12} + \beta_2 + \beta_3 r_{32} + \beta_4 r_{42} + \dots + \beta_m r_{m2}; \\ r_{y_3} &= \beta_1 r_{13} + \beta_2 r_{23} + \beta_3 + \beta_4 r_{43} + \dots + \beta_m r_{m3}; \\ &\vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \\ r_{y_m} &= \beta_1 r_{1m} + \beta_2 r_{2m} + \beta_3 r_{3m} + \beta_4 r_{4m} + \dots + \beta_m. \end{aligned} \quad (3.151)$$

В конечном итоге

$$\text{где } \beta_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}, \quad (3.152)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & r_{21} & r_{31} & r_{41} & \cdots & r_{m1} \\ r_{12} & 1 & r_{32} & r_{42} & \cdots & r_{m2} \\ r_{13} & r_{23} & 1 & r_{43} & \cdots & r_{m3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{1m} & r_{2m} & r_{3m} & r_{4m} & \cdots & 1 \end{vmatrix} \quad (3.153)$$

Определитель Δ_i получается из определителя Δ заменой в нем соответствующего столбца на

$$\begin{matrix} r_{y_1} \\ r_{y_2} \\ r_{y_3} \\ \vdots \\ r_{y_m} \end{matrix}$$

Наличие стандартизованных коэффициентов β_i позволяет определить коэффициенты для уравнения регрессии в натуральном выражении. Например, коэффициент при переменной x_i

$$b_1 = \beta \sigma_y / \sigma_{x_1}. \quad (3.154)$$

Исследования и расчеты позволяют получить уравнение множественной регрессии в стандартизованном масштабе. Например, для условия, когда в рассмотрении участвуют все 18 факторов, оно имеет следующий вид:

$$t_y = -0,1418t_1 - 0,9055t_2 + 0,0716t_3 + 0,0036t_4 - 0,1289t_5 + 0,2118t_6 - \\ - 0,2290t_7 + 0,4909t_8 - 0,0057t_9 + 0,1169t_{10} + 0,0117t_{11} - 0,0127t_{12} + \\ + 0,0067t_{13} + 0,0121t_{14} - 0,0127t_{15} - 0,015t_{16} - 0,0060t_{17} + 0,0776t_{18}. \quad (3.155)$$

Полученная модель позволяет оценить степень влияния каждого из факторов на изменение величины инвентарного парка. Коэффициент β_i указывает, на какую часть среднего квадратического отклонения изменилось бы среднее значение величины инвентарного парка, если бы фактор x_i изменился на σ_{x_i} , но при этом все остальные факторы оставались бы без изменения. Например, при изменении величины количества отправленных грузов на 458,2 млн т инвентарный парк вагонов изменится на $0,9055\sigma_{x_2}$, или на 210 348 единиц. Наличие зависимости (3.155) позволяет произвести направленное формирование модели оптимальной сложности. Это достигается направленным набором факторов, включаемых в модель:

$$\begin{aligned}
 &x_2 \rightarrow x_2 + x_8 \rightarrow x_2 + x_7 + x_8 \rightarrow x_2 + x_6 + x_7 + x_8 \rightarrow x_1 + x_2 + x_6 + x_7 + x_8 \rightarrow \\
 &\rightarrow x_1 + x_2 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \rightarrow x_1 + x_2 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_{10} \rightarrow \\
 &\rightarrow x_1 + x_2 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{18} \rightarrow x_1 + x_2 + x_3 + x_5 + x_6 + x_7 + \\
 &+ x_8 + x_{10} + x_{18} \rightarrow x_1 + x_2 + x_3 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{16} + x_{18}.
 \end{aligned}$$

Дальнейшее усложнение модели нецелесообразно, так как неучтенные факторы не оказывают существенного влияния на формирование величины инвентарного парка. В таблице 3.28 приведены полученные характеристики исследуемых моделей. Анализ результатов исследований позволяет заключить, что модели с участием факторов $(x_2 + x_8)$, $(x_1 + x_2 + x_6 + x_7 + x_8)$, $(x_1 + x_2 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{18})$, $(x_1 + x_2 + x_3 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{18})$ дают наиболее близкие результаты при прогнозировании на $(21 + 1)$ -й год по сравнению с прогнозом, полученным по временному ряду парка вагонов. Для этих моделей характерен высокий уровень коэффициентов корреляции (0,98–1,00). На рисунках 3.47 и 3.48 приведены графики изменения коэффициента b_0 при направленном и свободном формировании модели.

Таким образом, для прогнозирования величины парка вагонов можно рекомендовать две модели, стандартизованное выражение которых имеет вид

$$t_y^{(2)} = -1,325t_{x_2} + 1,179t_{x_8}; \quad (3.156)$$

$$t_y^{(5)} = -0,0388t_{x_1} + 0,1076t_{x_2} + 0,0155t_{x_6} - 0,0024t_{x_7} + 0,048t_{x_8}. \quad (3.157)$$

Рассчитанные по этим моделям прогнозные значения инвентарного парка грузовых вагонов на $(21 + 1)$ -й год отличаются на 1,47 %.

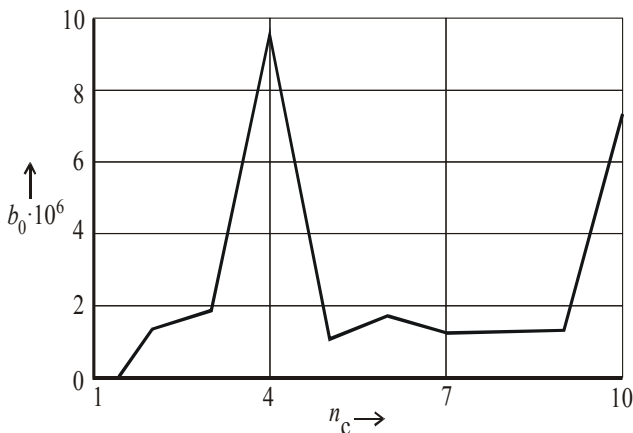


Рисунок 3.47 – График изменения коэффициента b_0 при выборе оптимальной системы

Таблица 3.28 – Характеристики моделей

$y = x = f(x_1, \dots, x_m)$	b	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}									
$y = f(x_1, \dots, x_3, x_5, \dots, x_8, x_{10}, x_{16}, x_{18})$	728×10^6	11,59	5176	0,85	431,7	0,69	50,88	37,42	5,32	3,96	1873	-1,05	-6413	-2,68 x 10 ⁶	-11,24	-2,016 x 10 ⁶	3,19	65530	-7,78 x 10 ⁶	-4,688 x 10 ⁶
$y = f(x_1, \dots, x_3, x_5, \dots, x_8, x_{10}, x_{18})$	1346000	-0,0046	-2,056	0,0002	0,089	0,0075	548,9	-7,598	-0,0035	-1,663	-0,0002	-1,181	-0,0033	-2708	0,0003	0,0	0,0002	111,2		
$y = f(x_1, x_2, x_5, \dots, x_8, x_{10}, x_{18})$	1340000	-0,06393	-0,00018	0,05803	0,00407	0,0537	0,02603	-0,00013	-0,0564	-0,03907	-0,0620	-0,1682	-0,0583	-1,483	-0,04129	-7,760				
$y = f(x_1, x_2, x_5, \dots, x_8, x_{10})$	1342000	-0,00072	-0,3200	-0,00008	0,0423	0,00087	6,1500	0,00123	0,5831	0,00046	2,779	-0,00046	-384,4	-0,00059	-105,3					
$y = f(x_1, x_2, x_5, x_6, x_7, x_8)$	1799000	0,1121	50,07	0,2931	148,60	-0,3541	-2492	-0,1498	-70,95	0,2568	1567	-0,4613	-382200							
$y = f(x_1, x_5, x_6, x_7, x_8)$	1092000	-0,0388	-17,31	0,1076	54,54	0,0155	7,34	-0,0024	-14,43	0,0480	3974									
$y = f(x_2, x_6, x_7, x_8)$	9959000	2,333	1183	2,208	1045	-2,981	-18190	-5,316	-4,405 x 10 ⁶											
$y = f(x_2, x_7, x_8)$	1932000	1,173	594,5	1,937	-11820	0,764	633200													
$y = f(x_2, x_8)$	1461000	-1,325	-671,8	1,179	976700															
$y = f(x_2)$	-436100	1,0000	507																	

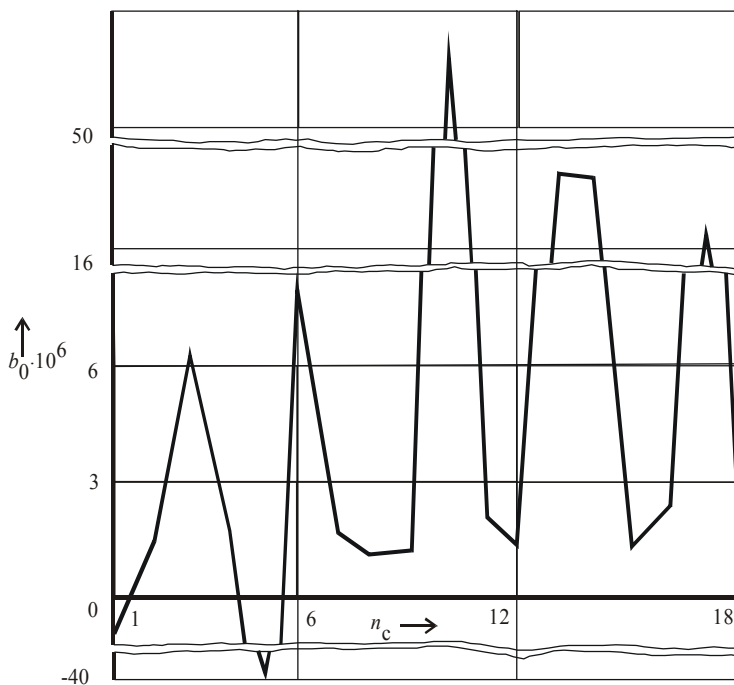


Рисунок 3.48 – График изменения коэффициента b_0 при свободном формировании системы

3.4.7 Метод экспоненциального сглаживания в прогнозировании мощности базы

Многие экономические процессы длительное время развивались и продолжают развиваться экспоненциально. В книге указывается на целесообразность разработки модели, которая бы учитывала экспоненциальный характер на отдельных участках, а при увеличении участков развития – переход к исследованию аллометрического роста при сохранении общего логистического характера развития процесса. Однако для эффективного использования логистической кривой при прогнозировании необходимо знать предельный размер системы.

Прогнозируя развитие системы с использованием экспоненциальных моделей, необходимо учитывать, что они дают удовлетворительное описание динамики изменения исследуемого объекта (системы) только при наличии постоянных воздействий на него. Поэтому вполне обоснованным является вывод о целесообразности использования **экспоненциальных моделей** на отдельных участках развития.

Если при увеличении (уменьшении) временного ряда темп увеличения (уменьшения) падает обратно пропорционально времени, то наблюдается закон неравномерного (гетерогенного) роста. Такие модели называются аллометрическими. Они описывают более длительные участки развития, в основе их лежит предположение о непрерывном изменении темпов роста. Однако имеются и существенные трудности в применении для разработки прогноза аллометрических моделей: отыскание характера сопряжения с полезными участками экспоненциального роста; невозможность учета явно выраженных, отличных от установившегося экспоненциального, скачков темпов изменения состояния системы.

Для многих динамических систем характерно влияние предыдущего развития на дальнейший рост системы. В таком случае используются рекуррентные модели. Рекуррентные соотношения лежат в основе метода экспоненциального сглаживания, которое целесообразно осуществлять по трем основным типам моделей: постоянной, линейной и квадратичной.

Пусть задан временной ряд, характеризующий динамику изменения мощности базы деповского ремонта грузовых вагонов,

$$x_t; t = 1, 2, 3, \dots, i, \dots, n, \quad (3.158)$$

где x_t – значение мощности базы в момент времени t ; n – длина динамического ряда.

Рекуррентность связи последующего и предыдущего значений временного ряда выражается следующим образом:

$$S_t = \alpha x_t + (1 - \alpha)S_{t-1}, \quad (3.159)$$

где S_t, S_{t-1} – значения экспоненциальной средней в моменты времени t и $t - 1$; α – параметр сглаживания, $0 < \alpha < 1$.

Для постоянной прогнозной модели процесс может быть представлен так:

$$x_t = a_0(t) + E(t), \quad (3.160)$$

где $E(t)$ – «белый» шум, который действует на всем протяжении ряда.

Параметр $a_0(t)$ оцениваем с помощью экспоненциальной средней

$$S_t(x) = \alpha x(t) + (1 - \alpha)S_{t-1}(x); \quad (3.161)$$

$$\hat{a}_0 = S_t(x). \quad (3.162)$$

Прогнозное значение исследуемого показателя определим по формуле

$$x_2(t) = \hat{a}_0(t) = S_t(x). \quad (3.163)$$

В качестве начального значения $S_0(x)$ принимаем первое значение ряда, т. е. $S_0(x) = x_1$.

Ошибка прогноза

$$l_{\hat{x}_t} = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2 \right] / n - 1} \sqrt{2/(2-n)}, \quad (3.164)$$

где \hat{x}_t – расчетное значение показателя в момент времени t .

При сглаживании по линейной модели предполагается, что процесс может быть представлен как

$$x_t = a_0(t) + a_1(t)t + \epsilon(t). \quad (3.165)$$

Коэффициенты $a_0(t)$ и $a_1(t)$ рассчитываем по формулам

$$\hat{a}_0(t) = x(t) + (1 - \alpha)^2 [\hat{x}_1(t-1) - x(t)]; \quad (3.166)$$

$$\hat{a}_1(t) = \hat{a}_1(t-1) + \alpha^2 [\hat{x}_1(t-1) - x(t)]. \quad (3.167)$$

Тогда прогнозное значение исследуемого фактора

$$\hat{x}_t(t) = \hat{a}_0(t) + t\hat{a}_1(t). \quad (3.168)$$

При этом ошибка прогнозирования составит

$$l_{\hat{x}_t} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n-1}} \sqrt{\frac{\alpha}{(2-\alpha)^3} [1 + 4(1-\alpha) + 5(1-\alpha)^2 + 2\alpha(4-3\alpha)\tau + 2\alpha^2\tau^2]}. \quad (3.169)$$

Если рассматривать квадратическую модель, то исследуемый процесс можно представить следующим образом:

$$x_t = a_0(t) + a_1(t)t + \frac{1}{2}a_2(t)t^2 + \epsilon(t). \quad (3.170)$$

Коэффициенты $a_0(t)$, $a_1(t)$ и $a_2(t)$ определяем из следующих выражений:

$$\hat{a}_0(t) = x(t) + \beta^3 [\hat{x}_1(t-1) - x(t)]; \quad (3.171)$$

$$\hat{a}_1(t) = a_1(t-1) + a_2(t-1) - \frac{3\alpha^2}{2}(2-\alpha)[\hat{x}_1(t-1) - x(t)]; \quad (3.172)$$

$$\hat{a}_2(t) = a_2(t-1) - \alpha^3 [\hat{x}_1(t-1) - x(t)]. \quad (3.173)$$

В этом случае прогнозное значение исследуемой величины

$$\hat{x}_t(t) = \hat{a}_0(t) + t\hat{a}_1(t) + \frac{1}{2}t^2\hat{a}_2(t), \quad (3.174)$$

а величина ошибки

$$l_{\hat{x}_t} = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2 \right] / (n-1)} \sqrt{2\alpha + 3\alpha^2 + 3\alpha^2\tau^2}. \quad (3.175)$$

В качестве начальных значений оценок коэффициентов принимаем

$$\hat{a}_2(0) = x_1 - 2x_2 + x_3; \quad (3.176)$$

$$\hat{a}_1(0) = x_2 - x_1 - 1,5\hat{a}_2(0); \quad (3.177)$$

$$\hat{a}_0(0) = x_1 - \hat{a}_1(0) - 0,5\hat{a}_2(0). \quad (3.178)$$

Одним из ответственных моментов экспоненциального прогнозирования является определение **параметра сглаживания** α . При увеличении значения α предпочтение отдается более поздним уровням динамического ряда. А для того, чтобы полнее учесть предысторию процесса, необходимо α уменьшать. При экспоненциальном сглаживании следует задавать пределы изменения $0 < \alpha < 1$. Оптимальный уровень α устанавливается по условию, что взвешенная сумма квадратов отклонений фактических данных от сглаженных является минимальной. Наиболее часто значение α лежит в пределах от 0,01 до 0,30. На предварительном этапе величину α можно рассчитать по зависимости

$$\alpha = 2 / (n + 1), \quad (3.179)$$

где n – число наблюдений динамического временного ряда.

Прогнозирование величин инвентарного парка вагонов и мощности депо-вагоноремонтной базы (по количеству позиций) проводилось с использованием модифицированного метода Р. Брауна. Результаты расчета сведены в таблицу 3.29.

Т а б л и ц а 3.29 – **Результаты расчетов по экспоненциальным моделям**

Массив	Модель	Ошибка прогноза, %, для периода упреждения, лет										$\alpha_{\text{опт}}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Крытые	Линейная	7,58	10,61	11,58	8,03	9,26	27,57	10,85	10,71	9,32	6,19	0,01
	Квадратичная	5,68	12,96	24,14	42,91	55,35	10,72	92,68	114,14	140,68	174,68	0,61
Платформы	Линейная	150,87	143,31	138,33	140,37	142,23	139,42	148,49	151,78	154,84	190,26	0,01
	Квадратичная	2,67	3,55	5,46	10,49	10,41	18,51	27,55	33,91	40,28	41,32	0,99
Полувагоны	Линейная	41,61	42,33	43,04	28,86	26,12	36,56	26,67	25,18	36,95	24,87	0,01
	Квадратичная	11,41	13,32	15,60	49,08	59,68	98,59	68,22	76,66	53,12	87,53	0,01
Цистерны	Линейная	0,32	0,14	0,71	5,08	6,34	1,67	9,93	11,89	14,71	15,90	0,21
	Квадратичная	1,38	2,04	3,50	9,05	11,49	7,79	17,85	21,52	26,15	29,17	32,41
Весь парк	Линейная	1,00	1,45	1,11	0,58	0,46	1,8	3,10	4,40	4,37	7,12	0,14
	Квадратичная	0,42	0,56	1,48	2,63	4,20	6,14	7,96	9,68	11,57	13,35	0,93

Выполненные по экспоненциальным моделям исследования и проведенные расчеты позволили сделать следующие **выводы**:

- 1 Ошибки в прогнозах чаще всего превосходят допустимые значения.
- 2 Экспоненциальные модели эффективно могут быть использованы для краткосрочного прогнозирования.
- 3 Экспоненциальные модели основываются на детерминированных характеристиках исходной информации.
- 4 Проблема оптимизации величины α остается нерешенной.

5 С увеличением периода упреждения ошибка в прогнозе нарастает.

6 Экспоненциальные модели прогнозирования могут быть эффективными только при разработке прогнозов по изменению парка цистерн.

3.4.8 Метод гармонического анализа при прогнозировании мощности базы

Если основная тенденция динамического ряда содержит периодическую компоненту, то в этом случае при прогнозировании целесообразно применять метод гармонического анализа. Наибольшее распространение получил **метод гармонических весов**, разработанный З. Хелвигом. Как и при экспоненциальном сглаживании, учитывается "вес" информации. Для реализации гармонического анализа весь временной ряд разбивается на несколько отрезков, которые перекрывают друг друга. Рекомендуется, чтобы в отрезок входило пять уровней ряда. Затем по каждому отрезку осуществляется аппроксимация статистических данных по линейной зависимости. Таким образом, весь временной ряд представляет собой кусочно-линейную зависимость. Для каждого года ряда рассчитывается поправка. Например, для второго года поправка

$$m_2 = (n-1)^{-1}, \quad (3.180)$$

где n – число членов ряда.

Для значения параметра в момент времени t поправка

$$m_t = m_{t-1} + (n-t-1)^{-1}. \quad (3.181)$$

В дальнейшем рассчитывается значение веса каждого прироста. Например, вес поправки m_{t+1} будет равен

$$c_{t+1} = m_{t+1}/(n-1).$$

Сумма весов всех поправок ряда равна 1, т. е.

$$\sum_{t=1}^n c_{t+1} = 1.$$

Для оценки гармонического прироста по всему ряду необходимо просуммировать произведение прироста по каждому моменту времени на величину его веса. Прогнозное значение рассматриваемого ряда определено суммированием расчетного значения параметра для последнего года динамики и гармонического прироста. По гармонической модели были рассчитаны прогнозные значения для инвентарного парка по каждому типу вагонов, а также для мощности вагоноремонтной базы. Расчеты показали, что, например, при периоде упреждения всего один год ошибка в прогнозе для платформ составила 5,19 %. На рисунке 3.49 представлены графики изменения усредненной фактической и прогнозной величин парка (в %) одного из типов вагонов.

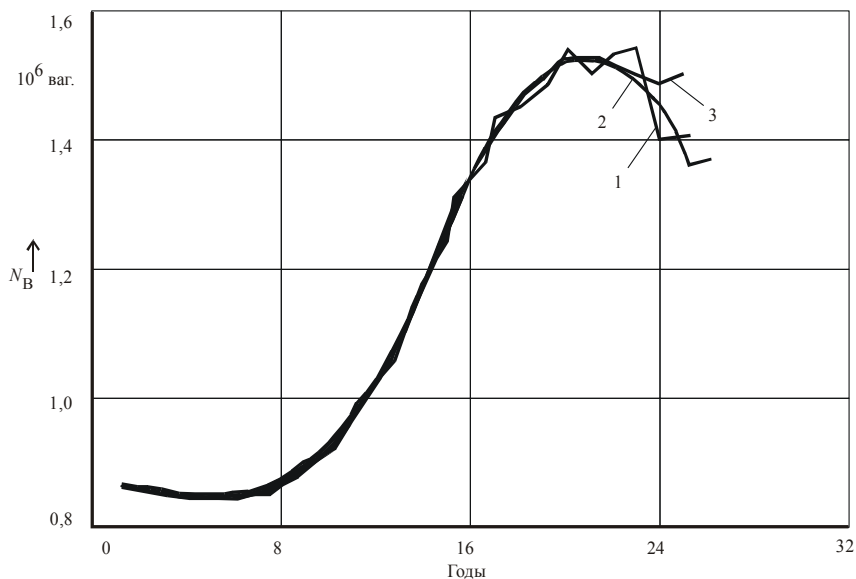


Рисунок 3.49 – Графики динамики временного ряда для i -го типа вагонов:
 1 – фактические данные; 2 – линия регрессии; 3 – прогноз на 25-й год из 24

На рисунке 3.50 представлены аналогичные графики, относящиеся к количеству ремонтных позиций. Исследования также показали, что прогнозные значения во многом определяются длиной ретроспективного ряда.

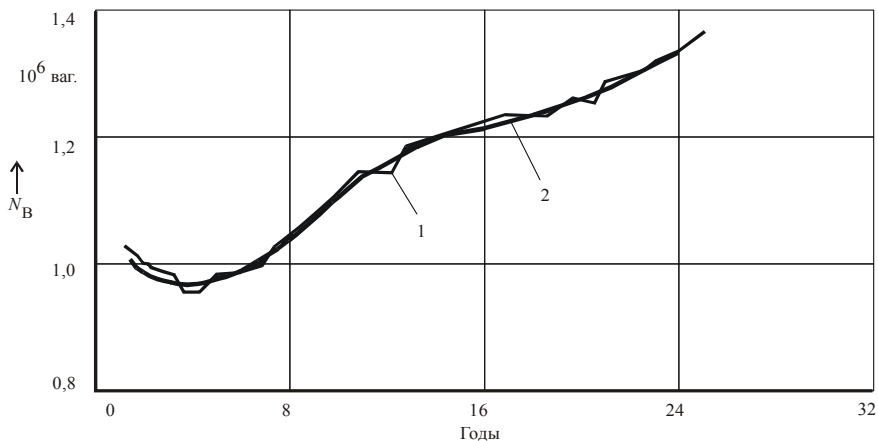


Рисунок 3.50 – Графики динамики временного ряда
 по количеству ремонтных позиций:
 1 – фактические данные; 2 – линия регрессии

Таким образом, можно утверждать, что метод гармонического анализа отражает динамику процесса, сложившуюся в последние годы. Другими словами, он может эффективно использоваться только для краткосрочного прогнозирования.

В целом же, обобщая вышесказанные об экономико-математических методах и моделях в планировании вагонного хозяйства, можно сделать следующие выводы:

1 Одним из необходимых условий повышения эффективности вагоноремонтного производства является разработка и практическая реализация долгосрочной программы развития, базирующейся на современных достижениях научно-технического прогресса. Основой такой программы является научно обоснованная оценка перспективных уровней величины инвентарного парка, показателей, характеризующих эксплуатационную надежность вагонов, а также систем технического обслуживания и ремонта. Решение такой задачи возможно на основе применения современных методов прогнозирования. Техничко-экономическая значимость теории прогнозирования вытекает из необходимости сократить затраты на строительство и реконструкцию вагонных депо, уменьшить степень риска от принятия неоптимальных решений.

2 Исследование возможных методов прогнозирования для оценки потребной мощности деповской вагоноремонтной базы выявило характерный для всех существенный недостаток. Все методы в качестве исходной информации используют детерминистическую. Это существенно обедняет теорию прогнозирования, находится в противоречии с физической сущностью процесса и, как следствие, не позволяет получить приемлемые результаты.

3 Проблема оптимального горизонта прогнозирования возникает в связи с тем, что в случае чрезмерно большого горизонта требуются неоправданно большие объемы работ и затраты для предсказания будущего спроса и решения многопериодной модели. При слишком коротком горизонте планирования маловероятно, что решение модели обеспечит оптимальный план. Период упреждения прогноза для рассматриваемой проблемы должен составлять 18–20 лет. Существовавшие ранее расчеты по оценке перспективных объемов работы депо весьма приближенно отражали действительные и перспективные условия их работы. Расчеты, выполненные с учетом влияния уровня значимости принимаемых решений, действительных колебаний продолжительности периодов проектирования, строительства и освоения мощности, существенно отличаются от выводов, получаемых при традиционном подходе.

4 Основным направлением развития теории и практики долгосрочного прогнозирования потребной мощности деповской вагоноремонтной базы является учет вероятностных характеров величин, определяющих ее.

5 Значительные резервы повышения точности прогнозов на период упреждения 20 лет кроются в использовании "веса" информации. Учет "веса"

информации позволяет на 7–11 % повысить точность прогноза величины инвентарного парка грузовых вагонов.

6 Важное значение для практики прогнозирования величины инвентарного парка грузовых вагонов имеет более широкое использование авторегрессионных моделей. Исследования показали, что для различных типов вагонов степень связи между значениями величины инвентарного парка, разделенными временным интервалом τ , различная. Наибольшей степенью связанности обладают цистерны, наименьшей – крытые вагоны. Время корреляции для цистерн, полувагонов, платформ и крытых вагонов соответственно равно 14–15, 12–13, 12–13 и 5–6 лет. Поэтому прогнозирование парка крытых вагонов требует применения более сложных моделей.

7 Сферой использования корреляционного и регрессионного анализов для прогнозирования величин инвентарных парков различных типов вагонов является предварительный анализ устойчивости динамических рядов, влияния различных факторов на расчетную величину парка. Доказано, что корреляционное отношение между величиной инвентарного парка и мощностью деповской вагоноремонтной базы равно 0,975. Это свидетельствует о том, что потребная мощность базы на перспективу во многом будет определяться величиной инвентарного парка.

8 Эффективность применения для прогнозирования экспоненциальных моделей определяется постоянством тренда динамического ряда. В таком случае они могут адекватно описать исследуемый процесс только при прогнозировании парка цистерн. Экспоненциальные модели дают удовлетворительные результаты лишь при краткосрочном прогнозировании.

9 Применение метода гармонического анализа в составлении прогнозов основывается на отражении динамики процесса, сложившейся в последние годы. Такая основа метода не позволит получить удовлетворительные результаты при разработке долгосрочных прогнозов.

10 Исследование методов множественной регрессии дает возможность существенно сократить круг факторов, которые определяют динамику изменения величины инвентарного парка. Полученная регрессионная модель включает 9 факторов, коэффициент множественной корреляции равен 0,945.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

4.1 Неразрушающий контроль в вагонном хозяйстве

Неразрушающий контроль (далее НК) – эффективное, а в ряде случаев и единственно возможное средство предотвращения нарушения безопасности движения на железнодорожном транспорте из-за изломов рельсов, основных деталей подвижного состава, а также сварных соединений в конструкциях пути, подвижного состава и искусственных сооружений.

В настоящее время чаще используют понятие «система НК», которое включает в себя совокупность физических методов, технических средств, технологий и условий проведения НК с целью обнаружения недопустимых дефектов в объекте контроля (ОК), а также состав и условия труда персонала, занятого НК и оценкой качества объекта.

Неразрушающий контроль является частью технологий изготовления, ремонта и технического обслуживания вагонов и выполняется с целью своевременного выявления в объектах контроля возможных дефектов и неисправностей для принятия необходимых мер по обеспечению технической и экологической безопасности железнодорожного транспорта.

Система НК деталей и составных частей вагонов реализуется в деятельности предприятий, производящих работы по изготовлению, ремонту, техническому обслуживанию вагонов, их деталей и составных частей (далее – предприятия), а также железнодорожных администраций и компаний – собственников инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Система НК деталей и составных частей вагонов базируется:

- на конструкторской (ремонтной, эксплуатационной) документации на детали и составные части вагонов, регламентирующей требования к типам и характеристикам возможных дефектов в объектах контроля и видам (методам) НК для их обнаружения;
- нормативной и технологической документации на НК объектов контроля, устанавливающей основные параметры, методики, применяемые средства и технологии НК, а также требования к организации НК;
- средствах НК, дефектоскопических материалах, оборудовании и условиях труда персонала, обеспечивающих выполнение технологий НК;
- подразделениях (лабораториях) НК;

- квалифицированном персонале по НК;
- системе управления качеством НК (организация экспертизы и испытаний методик, средств и технологий НК; проверка наличия средств и условий выполнения НК и мониторинг достоверности результатов НК), отвечающей требованиям ИСО/МЭК 17025 и реализуемой с участием независимых экспертных организаций, обладающих необходимыми методиками, оборудованием, образцами, квалифицированными экспертами, а также процедурами, гарантирующими независимость и объективность оценок.

Классификация видов неразрушающего контроля. Вид неразрушающего контроля – группа методов, объединенных общностью физических явлений. Применяемые виды (методы) НК должны обеспечить достоверное выявление дефектов в объектах контроля с учетом их контролепригодности (в том числе состояния поверхности). В соответствии с ГОСТ 18353 предусматриваются следующие виды неразрушающего контроля:

- 1) магнитный (магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый);
- 2) акустический, включающий в себя различные контактные и бесконтактные ультразвуковые методы;
- 3) капиллярный (проникающими веществами), включающий цветную и люминесцентную дефектоскопию, метод меловой пробы;
- 4) оптический;
- 5) радиоволновый;
- 6) радиационный;
- 7) тепловой;
- 8) электрический;
- 9) электромагнитный (вихревой).

По назначению неразрушающий контроль подразделяется на дефектоскопию, толщинометрию, структуроскопию, течеискание.

Совокупность методов и средств, позволяющих выявлять дефекты в изделиях без его разрушения, называется дефектоскопией. Таким образом, дефектоскопия занимается выявлением в объекте дефектов.

Классификация дефектов:

- 1) по влиянию на возможность эксплуатации – критические, значительные и незначительные;
- 2) возможности обнаружения – явные и скрытые;
- 3) возможности устранения – исправимые и неисправимые.

4.1.1 Магнитный контроль

По способу получения первичной информации магнитный **вид неразрушающего контроля** подразделяют: на магнитопорошковый, индукционный, феррозондовый, магнитографический, с использованием эффекта Холла,

пондеромоторный и магниторезисторный. Все они основаны на регистрации магнитных полей рассеяния над дефектами, но различными способами, а именно: в магнитопорошковом виде используется в качестве индикатора порошок, в индукционном – величина, или фаза, индуцируемая в измерительную обмотку электродвижущей силы, в феррозондовом – измеренные напряженность или градиент магнитного поля рассеяния, в методе с применением эффекта Холла – напряжение Холла, в магнитографическом – ферромагнитная пленка, в пондеромоторном – сила отрыва (притяжения) пробного магнита (электромагнита) от ОК и в магниторезисторном – изменение сопротивления магниторезисторов.

Магнитопорошковый контроль. Этот метод контроля (ГОСТ 21105) основан на притяжении частиц магнитного порошка полем рассеяния дефекта. Для регистрации магнитного поля рассеяния в качестве индикатора применяется тонко размельченный ферромагнитный порошок.

Контролю подлежат: оси колесных пар, детали роликовых подшипников, маятниковые подвески, стяжные болты аппаратов, хвостовики автосцепок, тяговые хомуты, клинья и валики, подвески, детали центрального рессорного подвешивания и др.

Эффективность магнитопорошкового контроля зависит от магнитных характеристик материала, формы и размеров объекта, шероховатости его поверхности, наличия и уровня поверхностного упрочнения, толщины немагнитных покрытий, местоположения и ориентации дефектов, напряженности магнитного поля и его определения на поверхности дефектов, угла между направлением намагничивающего поля и плоскости дефектов, свойств магнитного индикатора, способа его нанесения на объект контроля, а также способа и условий регистрации индикаторного рисунка выявляемых дефектов.

Магнитопорошковая дефектоскопия основана на выявлении локальных магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектом, с помощью ферромагнитных частиц, играющих роль индикатора.

Магнитное поле рассеяния возникает над дефектом вследствие того, что в намагниченной детали магнитные силовые линии, встречая на своем пути дефект, огибают его как препятствие с малой магнитной проницаемостью, в результате чего магнитное поле искажается, отдельные магнитные силовые линии вытесняются дефектом на поверхность, выходят из детали и входят в нее обратно. При этом по обе стороны от трещин, то есть по краям дефекта, возникают местные магнитные полюсы N и S , создающие локальное магнитное поле рассеяния, которое в зоне дефекта тем больше, чем больше дефект и чем ближе он к поверхности детали. Наилучшее выявление дефекта будет в том случае, когда магнитные силовые линии в намагниченной детали располагаются под прямым (или близком к нему) углом к направлению дефекта.

Для обнаружения магнитного поля рассеяния на контролируемые участки детали наносят магнитный порошок двумя способами, реализующими "сухой" или "мокрый" метод. В первом случае для обнаружения дефектов используют сухой ферромагнитный порошок. Контроль "мокрым" методом осуществляется с помощью магнитной суспензии, т.е. взвеси ферромагнитных частиц в жидких средах: трансформаторном масле, смеси трансформаторного масла с керосином, смеси обыкновенной воды с антикоррозионными веществами.

Магнитное поле рассеяния выявляется благодаря тому, что на ферромагнитные частицы порошка действуют поперечные силы этого поля, которые стремятся затянуть эти частицы в места наибольшей концентрации магнитных силовых линий. В результате ферромагнитные частицы собираются над дефектом, образуя рисунок в виде полосок или цепочек. Ширина полосок из скопившихся частичек обычно значительно больше ширины дефекта, поэтому этим методом контроля могут быть выявлены даже мельчайшие трещины, надрывы, волосовины и другие мелкие дефекты.

Магнитопорошковым методом обнаруживаются дефекты:

- поверхностные с шириной раскрытия у поверхности 0,002 мм и более, глубиной 0,01 мм и более;
- подповерхностные, лежащие на глубине до 2 мм;
- внутренние (больших размеров), лежащие на глубине более 2 мм;
- под различного рода покрытиями, но при условии, что толщина немагнитного покрытия не более 0,25 мм.

ГОСТ 21105 устанавливает три условных уровня чувствительности в зависимости от размеров выявляемых поверхностных дефектов (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Условные уровни чувствительности магнитопорошковой дефектоскопии

Условный уровень чувствительности	Ширина дефекта	Глубина дефекта	Максимально допустимая шероховатость поверхности	Примечание
А	2,5	25	$R_{\square} = 2,5$	Минимальная протяженность дефекта равна 0,5 мм; протяженность дефекта определяется по длине валика осаждения порошка
Б	10,0	100	$R_{\square} = 40$	
В	25,0	250	$R_{\square} = 40$	

Уровни чувствительности названы условными потому, что они определены для условных поверхностных дефектов, имеющих вид трещин с параллельными стенками, перпендикулярными поверхности детали.

Чувствительность магнитопорошкового метода контроля в значительной мере зависит от шероховатости поверхности контролируемой детали. Максимальная чувствительность метода может быть получена при контроле де-

тали с шероховатостью, соответствующей параметру $R_a = 1,25 \dots 2,5$ мкм. С увеличением шероховатости чувствительность метода снижается.

В случае контроля деталей, имеющих большую шероховатость или склонных к образованию дефектов, глубоко залегающих под поверхностью, применяют крупный порошок, который наносят на поверхность "сухим" способом.

Чувствительность магнитопорошкового метода зависит также от подвижности частиц порошка. Для обеспечения высокой подвижности частиц необходимо применять порошки с частицами неправильной формы. Они должны обладать малой коэрцитивной силой и низкой остаточной намагниченностью для исключения их "прилипания" к контролируемой поверхности. Подвижность частиц магнитного порошка повышают путем их покрытия пигментом с низким коэффициентом зрания.

На чувствительность метода оказывает влияние и род намагничивающего тока при обнаружении подповерхностных дефектов. Предпочтение в этом случае отдается постоянному току, так как он создает магнитное поле, глубоко проникающее внутрь детали.

Следует также иметь в виду, что при обнаружении подповерхностных дефектов более высокая чувствительность может быть достигнута путем применения "сухого" способа, по сравнению с "мокрым". Причем для повышения чувствительности "сухого" способа ферромагнитный порошок предварительно распыляют в специальном устройстве, а затем подают по шлангу непосредственно на контролируемую деталь или в закрытую камеру, в которой установлена деталь. Способ нанесения ферромагнитного порошка на поверхность детали может быть реализован и с помощью специального бункера, в котором магнитный порошок находится во взвешенном состоянии. При этом намагниченную деталь погружают в рыхлый порошок, а затем медленно извлекают из него для расшифровки образовавшегося индикаторного рисунка.

Такой способ нанесения магнитного порошка рекомендуется применять и для контроля деталей, имеющих слой немагнитного покрытия, причем чувствительность метода в этом случае зависит от толщины немагнитного покрытия.

Более высокая чувствительность магнитопорошкового метода контроля с применением сухого порошка по сравнению с применением магнитной суспензии объясняется:

- высокой подвижностью ферромагнитных частиц, взвешенных в воздухе, из-за незначительных сил трения, действующих на частицы в этой среде (для перемещения частиц в воздухе требуется гораздо меньшая сила, чем для их перемещения в вязкой среде магнитной суспензии);

- отсутствием гидродинамического воздействия струи суспензии при ее нанесении на деталь или поверхностного натяжения жидкости при извлечении детали из бака с суспензией;

- формированием из ферромагнитных частиц тонких цепочек, которые более чувствительны к магнитным полям рассеяния, чем отдельные частицы.

Перед проведением контроля деталей магнитопорошковым методом необходимо выбрать в каждом конкретном случае:

- способ контроля (в приложенном поле или на остаточном намагничивании);
- вид и способ намагничивания (продольное, циркулярное или комбинированное);
- род намагничивающего тока;
- величину напряженности намагничивающего поля;
- тип порошка и способ его нанесения на контролируемую поверхность детали.

Феррозондовый контроль. Он основан на обнаружении феррозондовым преобразователем (ФП) магнитных полей рассеяния дефектов в предварительно намагниченных деталях и предназначен для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов типа нарушения сплошности: волосянин, плен, трещин, ужимов, закатов, раковин и др.

Самый простой феррозондовый дефектоскоп имеет один феррозондовый преобразователь, который в процессе сканирования плоского участка поверхности контролируемой детали преобразует параметр магнитного поля (пространственную производную напряженности, именуемую градиентом) в сигнал постоянного тока. Этот сигнал сравнивается с опорным. Решение об обнаружении дефекта выдается, если сигнал превышает пороговое значение.

К достоинствам метода следует отнести:

- использование статических магнитных полей, сравнительно глубоко проникающих в контролируемый объект, что позволяет обнаруживать как поверхностные, так и подповерхностные дефекты с глубиной залегания до 40 мм;

- измерение градиента не в материале детали, а над ее поверхностью. Это значительно снижает требования к качеству поверхности: ее шероховатость на литых деталях может превышать Rz320, а при контроле сварных швов по валику усиления достигать Rz1500. Зазор между преобразователем и контролируемой поверхностью, обусловленный наличием загрязнений, может достигать 4 мм;

- высокую чувствительность, особенно к усталостным трещинам (выявляются усталостные трещины с шириной раскрытия от 1 мкм и глубиной от 50 мкм). По этому показателю феррозондовый метод приближается к магнитопорошковому.

В то же время методу присущи недостатки, обусловленные:

- жесткими требованиями к намагничиванию контролируемых деталей, что требует создания уникальных (для каждого типа деталей) намагничивающих устройств, приборов для измерения магнитных полей (полемеров) и соответствующего метрологического оборудования;

- спецификой настройки дефектоскопов. Настройка производится с помощью специальных настроечных образцов с моделями дефектов. Градиент

над каждым дефектом должен находиться в пределах малого допуска. Для контроля градиента на настроечном образце требуется прибор для измерения градиента напряженности магнитного поля (градиентометр) и соответствующее метрологическое оборудование.

Для контроля используют феррозондовый преобразователь – градиентометр, в конструкцию которого входят два параллельных сердечника из магнитомягкого сплава (пермолоя), на которые намотаны катушки индуктивности. Катушки между собой соединены последовательно-встречно (рисунок 4.1).

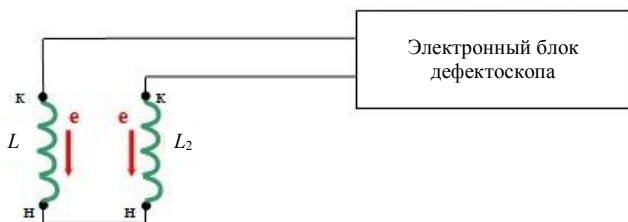


Рисунок 4.1 – Последовательно-встречное соединение катушек

Диаметр стержней значительно меньше их длины: диаметр – 0,1–0,15 мм, длина – 5 мм. Благодаря этому стержни намагничиваются нормальной составляющей магнитного поля, так как в процессе контроля стержни ориентированы перпендикулярно поверхности контролируемой детали (рисунок 4.2).

Феррозондовые преобразователи конструируются с базой 3 и 4 мм. База преобразователя это – расстояние между центрами сердечников Δx .

Для контроля плоских деталей используются феррозондовые преобразователи с базой 4 мм, а для деталей сложной формы – с базой 3 мм, что снижает отношение сигнал/помеха и позволяет контролировать поверхность деталей в углублениях.

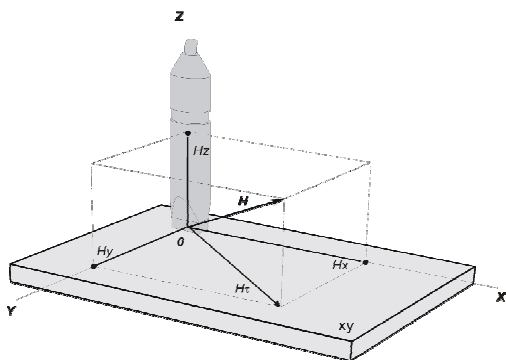


Рисунок 4.2 – Положение ФП на поверхности контролируемой детали:

H – вектор напряженности магнитного поля; x, y, z – декартовы координаты; H_x, H_y, H_z – проекции вектора H на оси x, y, z соответственно; H_r – проекция вектора H на плоскость x, y

Преобразователь дефектоскопа размещается на участке детали без дефекта, где значения напряженности магнитного поля в разных точках одинаковы. Это означает, что градиент напряженности магнитного поля равен нулю. Тогда на каждый стержень преобразователя будут действовать одинаковые постоянная и переменная составляющие напряженности магнитного поля. Эти составляющие будут одинаково перемагничивать стержни, поэтому напряжения на обмотках равны между собой. Разность напряжений, определяющая выходной сигнал, равна нулю. Таким образом, преобразователь дефектоскопа не реагирует на магнитное поле, если нет градиента (дефекта).

Если градиент напряженности магнитного поля не равен нулю (имеется дефект), то стержни будут находиться в одинаковом переменном магнитном поле, но постоянные составляющие будут разными. Каждый стержень перемагничивается переменным током обмотки от состояния с магнитной индукцией. Согласно закону электромагнитной индукции напряжение на обмотке может появиться только тогда, когда изменяется магнитная индукция. Поэтому период колебаний переменного тока может быть разбит на интервалы, когда стержень находится в насыщении и, следовательно, напряжение на обмотке равно нулю, и на промежутки времени, когда насыщения нет, а, значит, напряжение отличается от нуля. В те промежутки времени, когда оба стержня не намагничены до насыщения, на обмотках появляются одинаковые напряжения. В это время выходной сигнал равен нулю. То же самое будет при одновременном насыщении обоих стержней, когда напряжение на обмотках отсутствует. *Выходное напряжение появляется тогда, когда один сердечник находится в насыщенном состоянии, а другой – в ненасыщенном.*

Одновременное воздействие постоянной и переменной составляющих напряженности магнитного поля приводит к тому, что каждый сердечник находится в одном насыщенном состоянии более длительное время, чем в другом. Более длительному насыщению соответствует сложение постоянной и переменной составляющих напряженности магнитного поля, более короткому – вычитание. Разность между интервалами времени, которые соответствуют значениям магнитной индукции, зависит от напряженности постоянного магнитного поля. В те промежутки времени, когда один стержень насыщен, а другой – ненасыщен, возникает выходное напряжение преобразователя. Это напряжение зависит от градиента напряженности магнитного поля.

Поверхностный дефект характеризуется длиной, шириной (раскрытием) и глубиной. Подповерхностный – еще и глубиной залегания. В подавляющем большинстве случаев у дефектов типа нарушения сплошно-

сти (трещины и др.) один из размеров (длина) существенно больше двух остальных. Выявляемость таких дефектов оказывается наилучшей, если направление силовых линий магнитного поля перпендикулярно этому размеру. Так как дефекты ориентируются в деталях произвольным образом, то для их выявления приходится намагничивать детали в различных направлениях.

Для феррозондового контроля деталей подвижного состава используется *полюсный метод намагничивания*, суть которого заключается в использовании устройств, полюса которых располагаются на поверхности детали таким образом, чтобы получить нужное направление силовых линий магнитного поля. Для намагничивания используются как стационарные намагничивающие устройства с электромагнитами, так и приставные с постоянными магнитами. Для других деталей в соответствии с нормативно-технической документацией (НТД) применяются также *циркулярное* и *комбинированное намагничивание*.

Детали и узлы большого размера (например, тележки грузового или пассажирского вагона) намагничивают согласно НТД стационарными намагничивающими устройствами с использованием электромагнитов.

Приставные намагничивающие устройства и системы используются для намагничивания сравнительно небольших деталей сложной формы (например, автосцепки), когда разработка стационарных намагничивающих устройств экономически нецелесообразна или для намагничивания участков деталей в тех направлениях, в которых намагнитить стационарными установками не удается.

В зависимости от магнитных свойств материала деталей, шероховатости их поверхности контроль выполняют способом приложенного поля (СПП) или способом остаточной намагниченности (СОН).

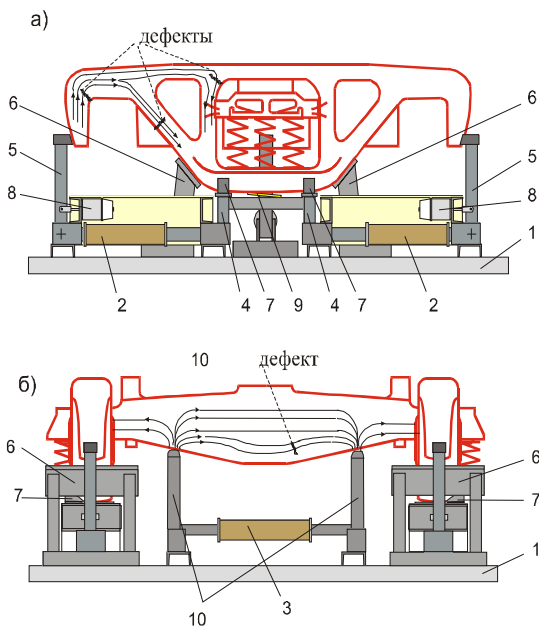
Детали тележек 18-100 (литье) контролируют способом остаточной намагниченности, например, с помощью устройства МСН 10.

Устройства МСН 21, МСН 22 применяют при контроле деталей тележек КВЗ-ЦНИИ, ЦМВ, КВЗ-5 (прокат) способом приложенного поля.

В качестве примера на рисунке 4.3 показано намагничивающее устройство МСН 10 с установленной на него рамой тележки модели 18-100. Линиями со стрелками показано направление силовых линий магнитного поля в боковой раме и в надрессорной балке, а также расположение нескольких типичных дефектов. Следует обратить внимание на то, что силовые линии магнитного поля практически перпендикулярны показанным на рисунке дефектам.

Рисунок 4.3 – Намагничивающее устройство МСН 10:

1 – фундамент; 2 – электромагниты для намагничивания боковых рам; 3 – электромагнит для намагничивания надрессорной балки; 4 – полюс-опоры; 5 – подвижные замыкатели магнитного потока; 6, 7 – ловители, базирующие тележку соответственно в продольном и поперечном направлениях; 8 – пневмоцилиндры; 9 – концевой выключатель; 10 – стойки-полюса



В качестве второго примера на рисунке 4.4 показано положение приставного намагничивающего устройства МСН 14 при контроле кромки ближнего к буксовому проему угла технологического отверстия боковой рамки тележки модели 18-100.

Следует обратить внимание на расположение дефекта кромки технологического отверстия. Силовые линии магнитного поля, сформированные устройством МСН 10, проходят параллельно плоскости, в которой располагается дефект, поэтому при контроле он не выявляется. Были найдены такие места установки полюсных наконечников приставного устройства МСН 14, при которых силовые линии магнитного поля формируются перпендикулярно к плоскости дефекта.

Намагничивающие устройства (рисунок 4.5) являются составной частью феррозондовых дефектоскопных установок и предназначены для создания магнитного потока в контролируемом объекте или в его отдельных участках. Намагничивающие устройства подразделяются на стационарные электромагнитные и приставные, содержащие постоянные магниты. Область применения каждого устройства определяется Руководящим документом РД 07.17–99 «Феррозондовый метод неразрушающего контроля узлов и деталей подвижного состава».

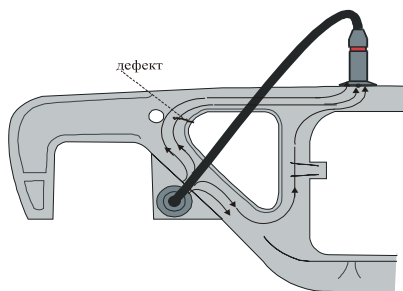


Рисунок 4.4 – Положение МСН 14 при контроле кромки угла технологического отверстия

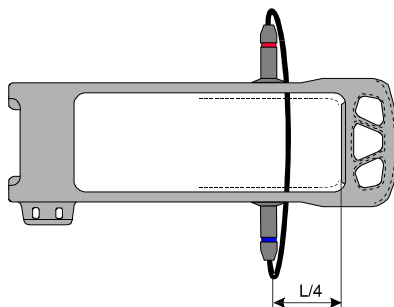


Рисунок 4.5 – Контроль тягового хомута автосцепного устройства с помощью намагничивающего устройства МСН 12-01

Контролю подлежат: боковые рамы, надрессорные балки, корпуса автосцепок, тяговые хомуты, диски колес, сварные соединения котлов цистерн и др.

4.1.2 Вихретоковый контроль

Метод вихревых токов основан на регистрации изменений электромагнитного поля вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля. **Вихревые токи** – это замкнутые токи, индуцированные в проводящей среде изменяющимся магнитным полем. Интенсивность и распределение вихревых токов в объекте зависит от его геометрических, электромагнитных параметров и от взаимного расположения измерительного вихретокового преобразователя и объекта. В качестве преобразователя для возбуждения и регистрации вихревых токов используют обычно индуктивные катушки с переменным током, хотя возбудителем вихревых токов могут быть поле движущегося магнита, переменное электромагнитное поле, образующееся за счет протекания электрического тока в проводе, а также волна радиоизлучения.

Рассмотрим общую **функциональную схему вихретокового контроля** на примере прибора с накладным измерительным преобразователем (рисунок 4.6).

Измерительный преобразователь состоит из возбуждающей обмотки, подключенной к генератору переменного тока, и измерительной обмотки, подключенной к блоку измерителя.

В *измерительной обмотке* преобразователя наводится ЭДС, определяемая потокоцеплением. Эта ЭДС (или напряжение) служит сигналом, передающим информацию об объекте в блок измерения, причем не только об одном параметре объекта контроля. Таким образом, напряжение зависит от следующих причин (факторов): толщины листа, электрической проводимости объекта, магнитной проницаемости, состояния поверхности, наличия и размеров дефектов, зазора и ориентации оси преобразователя, химического состава и структуры, температуры и т.д.

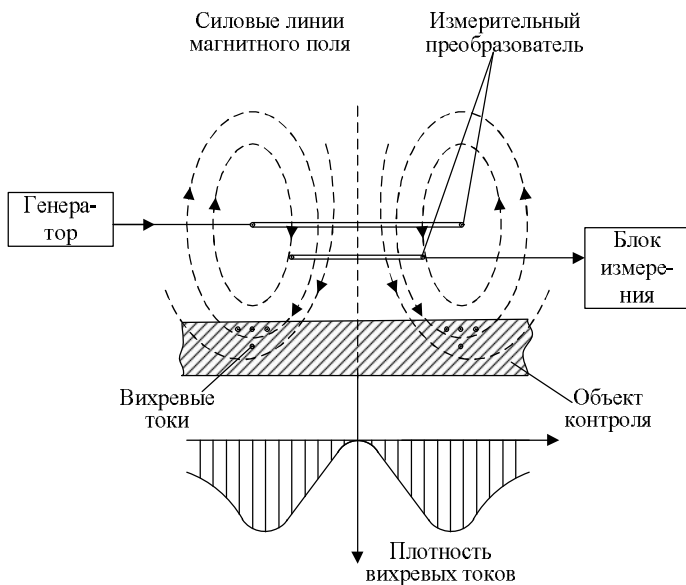


Рисунок 4.6 – Принцип действия прибора с накладным преобразователем

Магнитное поле преобразователя возбуждает в плоском объекте контроля концентрические вихревые токи; плотность их максимальна на поверхности электропроводящего объекта в контуре, диаметр которого близок к диаметру возбуждающей обмотки. Магнитное поле вихревых токов противоположно первичному магнитному полю возбуждающей обмотки, поэтому результирующее поле зависит от электромагнитных свойств контролируемого объекта и от расстояния между преобразователем и объектом (от зазора).

Высокая степень информативности вихретокового преобразователя определяет достоинства и недостатки метода вихретокового контроля. С одной стороны, метод вихретокового контроля позволяет осуществлять многопараметровый контроль, а с другой – требует применения специальных приемов с целью разделения информации об отдельных параметрах объекта.

Другая, не менее важная особенность вихретокового контроля – это бесконтактность, т.е. между объектом контроля и преобразователем создается небольшое (до 2 мм), но достаточное расстояние для свободного движения преобразователя. Вихретоковый метод позволяет производить контроль на больших скоростях, которые недоступны другим методам.

Получение информации в виде электрических сигналов, бесконтактность и высокое быстродействие вихретокового контроля – всё это определяет высокую производительность и возможность автоматизации контроля.

На сигналы вихретокового преобразователя практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, а также загрязнение поверхности объекта контроля непроводящими веществами.

Вихретоковые преобразователи устойчивы к механическим и атмосферным взаимодействиям, могут работать в агрессивных средах, при высоких температурах и давлениях, так как в большинстве случаев катушки преобразователей помещают в предохранительный корпус и герметически закрывают.

К недостаткам вихретокового метода контроля следует отнести, во-первых, то, что можно проводить контроль только у электропроводящих объектов: металлы, сплавы, графит, полупроводники, во-вторых, малую глубину зоны контроля, которая не превышает нескольких миллиметров, так как определяется глубиной проникновения в контролируемую среду электромагнитного поля.

Вихревой преобразователь представляет собой катушку (обмотку) индуктивности с переменным током, или комбинацию нескольких таких катушек. Преобразователи разделяются на типы по количеству катушек и по расположению преобразователя.

Однокатушечный преобразователь, по изменению параметров полного сопротивления которого формируют сигнал и судят о качестве объекта контроля, называют параметрическим. Такой тип нашел применение в дефектоскопах ВД-2, ВД 3-81, ППВТ.

В *двухкатушечном преобразователе* одна катушка – катушка возбуждения – служит для создания электромагнитного поля, следовательно, и вихревых токов, а другая – измерительная – для измерения ЭДС, наводимой в ней результирующим магнитным потоком, проходящим внутри этой катушки. Такой преобразователь называют трансформаторным, так как измерительная катушка в нем играет роль вторичной обмотки трансформатора. По способу соединения обмоток трансформаторные преобразователи подразделяют на абсолютные и дифференциальные (рисунок 4.7). *Абсолютные* имеют возбуждающую 1 и измерительную 2 обмотки (рисунок 4.7, а). Сигнал на выходе обмотки 2 определяется абсолютными значениями параметров объекта контроля в зоне контроля. У *дифференциальных* преобразователей две возбуждающие обмотки 1 соединены последовательно – согласно, а две одинаковые измерительные – последовательно-встречно (рисунок 4.7, б). Дифференциальный преобразователь применяется в дефектоскопах типа ВД-11НФ, ВД-15НФ.

В зависимости от расположения вихретокового преобразователя к объекту контроля их делят на проходные, накладные и комбинированные. *Проходные* преобразователи подразделяют на наружные, внутренние и погружные. Такая классификация проходных преобразователей основана на том, что они в процессе контроля проходят или снаружи объекта, охватывая его, или внутри объекта. Наружные проходные преобразователи используют при контроле линейно-протяжных объектов (проволака, прутки, трубы и т.д.), а также при массовом контроле мелких изделий. Внутренними проходными преобразователями контролируют внутренние поверхности трубы, а также стенки отверстий в различных деталях.

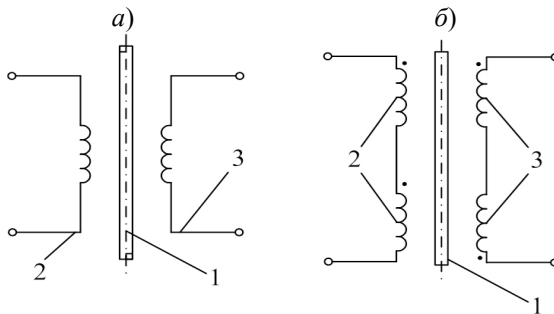


Рисунок 4.7 – Трансформаторные преобразователи:
а – абсолютный; *б* – дифференциальный

Погружные преобразователи погружаются в жидкий объект контроля.

Накладные преобразователи изготавливают с ферромагнитным сердечником или без него. Ферромагнитный сердечник (обычно ферритовый) повышает абсолютную чувствительность преобразователя и уменьшает зону контроля за счет локализации магнитного потока.

Накладные преобразователи применяют в основном при контроле качества объектов сложной формы, а также в тех случаях, когда требуется обеспечить локальность и высокую чувствительность. Расположенные вблизи поверхности объекта контроля они имеют одну или несколько обмоток.

Комбинированные вихретоковые преобразователи представляют собой комбинацию проходных измерительных катушек.

4.1.3 Акустический контроль

Акустические методы контроля занимают одно из центральных мест среди методов неразрушающего контроля. Их отличает высокая чувствительность, способность к выявлению дефектов различных размеров и формы. С помощью акустических методов проводят контроль самых разнообразных материалов и изделий. Выгодной отличительной особенностью акустических методов является возможность обнаружения дефектов, расположенных внутри изделия, на значительной глубине. Используя акустические методы, можно не только обнаружить дефект, но и определить его местоположение в изделии, указать, хотя бы приближенно, его размеры, сделать заключение о форме дефекта. **Метод акустического контроля основан на колебаниях волн.**

Колебания – это такие процессы, при которых состояние системы воспроизводится через определенные промежутки времени. Колебания бывают различной физической природы: механические (например, колебания маятника), электромагнитные (например, напряжение сети переменного тока), световые, акустические. Акустические колебания – это механические колебания частиц упругой среды. Сила упругости возвращает частицы к поло-

жению равновесия. Инерция вызывает продолжение колебания после прохождения положения равновесия.

Все колебания делятся на два класса: свободные и вынужденные. *Свободные* колебания совершает система, выведенная из положения равновесия и предоставленная самой себе. Свойства свободных колебаний определяются свойствами самой колеблющейся системы. Часто свободные колебания возбуждаются кратковременным воздействием, ударом. *Вынужденные* колебания совершаются под действием периодической силы, выводящей систему из положения равновесия. Свойства вынужденных колебаний определяются как свойствами системы, так и вынуждающей силой.

Колебания, возникнув в какой-то точке, распространяются в среде. Распространение колебаний в среде называется волной. Акустическая волна – это распространение механического возмущения.

По времени протекания процесса колебания и волны разделяются на непрерывные и импульсные. *Непрерывные* колебания возникли бесконечно давно, продолжают сейчас и будут продолжаться бесконечно долго. Как правило, за непрерывные колебания принимают колебания, продолжающиеся много периодов. *Импульсные* колебания имеют конечную продолжительность.

Периодом называют время полного колебания. Период обозначают буквой T , он измеряется в секундах, а также в микросекундах: $1 \text{ мкс} = 10^{-6} \text{ с}$. Максимальное отклонение от положения равновесия – это *амплитуда* колебания. Амплитуду обозначают буквой A или индексом « o » у колеблющейся величины, например, P_o .

Величина, обратная периоду, называется *частотой* f ,

$$f = 1/T. \quad (4.1)$$

Импульсные колебания бывают двух видов: видеоимпульсы и радиоимпульсы. Видеоимпульсы характеризуются амплитудой A , периодом повторения T_n и длительностью τ . Длительности импульса измеряют на уровне половины амплитуды или по уровню 6 дБ от максимума, если по оси ординат отложена величина, измеренная в децибелах. По ГОСТ 14782–86 «Соединения сварные. Методы ультразвуковые» длительность зондирующего импульса измеряется на уровне $0,1 A$. Частоту высокочастотного заполнения называют несущей частотой радиоимпульса f_0 . Остальные параметры радиоимпульсов такие же, как и видеоимпульсов: амплитуда A , период повторения T_n и частота следования F , длительности импульса τ фронта $\tau_{\text{фр}}$ и среза $\tau_{\text{ср}}$.

Волны, как и колебания, могут быть непрерывными и импульсными. Частицы среды в каждой точке совершают колебания. Поэтому все параметры колебаний относятся и к волнам. В дополнение к ним вводится еще понятие *длины волны*, которое выражает пространственную периодичность волнового движения. Распределение упругих смещений частиц в волне показано на рисунке 4.8, волна распространяется вдоль оси x .

Длина волны λ – это расстояние между точками, колеблющимися в одной фазе, или это расстояние, проходимое волной за время, равное периоду:

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}, \quad (4.2)$$

где c – скорость распространения упругих волн.

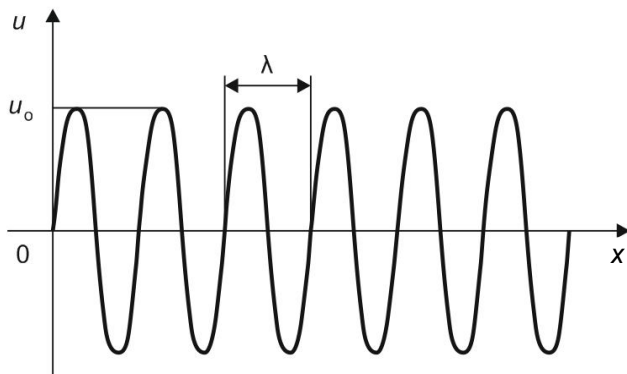


Рисунок 4.8 – Распределение упругих смещений в волне

В зависимости от частоты волны разделяют на *инфразвук* (частоты ниже 16 Гц), *слышимый звук* (частоты от 16 до 20 кГц), *ультразвук* (частоты от 20 кГц до 300 МГц), *гиперзвук* (частоты свыше 300 МГц). Границы между этими диапазонами в значительной степени условны. В акустическом контроле в настоящее время используются частоты от 50 Гц до 50 МГц.

Методы акустического неразрушающего контроля подразделяют на две группы: активные и пассивные. Активные методы основаны на излучении и приеме волн, а пассивные – только на приеме волн, источником которых служит сам объект контроля.

Активные методы делят на методы прохождения, отражения, комбинированные, импедансные и методы собственных частот.

В *методах прохождения* используются излучающие и приемные преобразователи. В их основу положен анализ сигналов, прошедших через контролируемый объект. К методам прохождения относят: амплитудно-теневую, основанный на регистрации уменьшения амплитуды волны, прошедшей через объект контроля вследствие наличия в нем дефекта; временной теневой, основанный на регистрации запаздывания импульса, вызванного увеличением его пути в изделии при огибании дефекта; велосимметрический, основанный на регистрации изменения скорости распространения дисперсионных мод упругих волн в зоне дефекта.

К *методам отражения* относятся: эхометод, основанный на регистрации эхосигналов от дефекта; эхосеркальный, основанный на анализе сигналов,

испытывавших зеркальное отражение от донной поверхности и дефекта; дельта-метод; дифракционно-временной, в основу которого положено измерение амплитуды и времени прихода сигналов от верхнего и нижнего концов дефекта; реверберационный, основанный на анализе влияния дефекта на время затухания многократно отраженных ультразвуковых импульсов в контролируемом объекте.

В *комбинированных методах* используются явления как прохождения, так и отражения акустических волн. К ним относятся: зеркально-теневой, основанный на измерении амплитуды донного сигнала; эхотеневой, в основу которого положен анализ как прошедших, так и отраженных волн; эхосквозной, при котором фиксируют сигналы многократного отражения волн от дефекта и испытывавших также отражение от верхней и нижней поверхностей изделия.

В *импедансных методах* применяется зависимость импедансов изделий при их упругих колебаниях от параметров этих изделий и наличия в них дефектов. При этом используют изгибные и упругие продольные волны, возбуждаемые стержневыми и плоскими преобразователями.

Метод контактного импеданса, применяемый для контроля твердости, основан на оценке механического импеданса зоны контакта алмазного индентора стержневого преобразователя, прижимаемого к контролируемому изделию с постоянной силой.

Методы собственных частот основаны на измерении этих частот (спектров) колебаний контролируемых объектов при возбуждении в изделиях свободных (при воздействии механического импульса) и вынужденных (при воздействии гармонической силы меняющейся частоты) колебаний.

Различают также *интегральные, локальные и акустико-топографические методы*. В интегральных методах анализируют собственные частоты изделия, колеблющегося как единое целое, в локальных – колебания отдельных его участков. Акустико-топографический метод основан на возбуждении в изделии интенсивных изгибных колебаний непрерывно меняющейся частоты, возбуждаемых преобразователем, и регистрации распределения амплитуд колебаний с помощью наносимого на поверхность порошка.

Пассивные акустические методы основаны на анализе упругих колебаний волн, возникающих в самом контролируемом объекте. Входит в практику неразрушающего контроля пассивный метод акустической эмиссии (надрессорные балки, боковые рамы тележек грузовых вагонов, котлы железнодорожных цистерн), позволяющий выявлять зарождающиеся дефекты и прогнозировать остаточный ресурс деталей, проработавших уже более нормативного срока службы.

Из рассмотренных акустических методов контроля наибольшее применение получил эхометод (более 90 % объектов, контролируемых акустическими методами, проверяют эхометодом). Этот метод используется для де-

фектоскопии поковок, отливок, сварных соединений, неметаллических материалов, в толщинометрии, при определении физико-механических свойств материалов.

Зеркально-теневой метод применяют для выявления дефектов, ориентированных перпендикулярно поверхности ввода.

Эхозеркальный и эхотеневой методы в варианте «тандем» используют для выявления вертикальных трещин и непроваров при контроле сварных соединений, дефектов округлой формы.

Теневой метод применяют для автоматического контроля изделий простой формы, изделий с большим уровнем реверберационных шумов, дефектоскопии многослойных конструкций и изделий из слоистых пластиков, при исследовании физико-механических свойств материалов с большим затуханием и рассеянием акустических волн.

Локальный метод вынужденных колебаний применяют для измерения малых трещин при одностороннем доступе.

Интегральный метод вынужденных колебаний используют для определения модуля упругости материала по резонансным частотам продольных, изгибных или крутильных колебаний при разрушающих испытаниях.

Реверберационный, импедансный, велосимметрический, акустико-топографический методы и локальный метод свободных колебаний используют в основном для контроля многослойных конструкций.

Вибрационно-диагностический и шумодиагностический методы служат для диагностики работающих механизмов.

4.1.4 Капиллярный контроль

Капиллярный (цветной) метод контроля основан на капиллярном проникновении внутрь дефекта специальной индикаторной жидкости (пенетранта), что позволяет выявлять дефекты, которые имеют выход на поверхность исследуемого объекта.

Метод показал свою высокую эффективность при выявлении различных видов несплошностей размером от 0,1 до 500 мкм на поверхности цветных и черных металлов, керамики, пластмасс, сплавов и стекла.

Капиллярный метод контроля применяется при контроле объектов любых размеров и форм, изготовленных из черных и цветных металлов, легированных сталей, чугуна, металлических покрытий, пластмасс, стекла и керамики. Для некоторых материалов и изделий этот метод является единственным для определения пригодности деталей или установок к работе.

Капиллярную дефектоскопию применяют также и для неразрушающего контроля объектов, изготовленных из ферромагнитных материалов, если их магнитные свойства, форма, вид и месторасположение дефектов не позволяют достигать требуемой по ГОСТ 21105 чувствительности магнитопорошковым методом и магнитопорошковый метод контроля не допускается применять по условиям эксплуатации объекта.

Необходимым условием выявления дефектов типа нарушения сплошности материала капиллярными методами является наличие полостей, свободных от загрязнений и других веществ, имеющих выход на поверхность объектов и глубину распространения, значительно превышающую ширину их раскрытия.

Капиллярный контроль используется также при течеискании и, в совокупности с другими методами, при мониторинге ответственных объектов и объектов в процессе эксплуатации.

Достоинствами капиллярных методов дефектоскопии являются: простота операций контроля, несложность оборудования, применимость к широкому спектру материалов, в том числе к немагнитным металлам.

В зависимости от вида проникающего вещества капиллярный метод контроля можно разделить на два типа:

– *метод проникающих растворов* (основан на применении жидкого индикаторного раствора в качестве проникающего вещества);

– *метод фильтрующихся суспензий* (основан на использовании индикаторной суспензии).

Процесс обнаружения дефектов капиллярным методом разделяется на пять стадий (проведение капиллярного контроля):

1 *Предварительная очистка поверхности*. Чтобы пенетрант мог проникнуть в дефекты на поверхности, ее предварительно следует очистить водой или органическим очистителем. Все загрязняющие вещества (масла, ржавчина и т.п.), любые покрытия (ЛКП, металлизация) должны быть удалены с контролируемого участка. После этого поверхность высушивается, чтобы внутри дефекта не оставалось воды или очистителя.

2 *Нанесение пенетранта*. Пенетрант наносится на поверхность путем распыления, кистью или погружением объекта контроля в ванну, для хорошей пропитки и полного покрытия пенетрантом. Как правило, при температуре 5...50 °С, на время 5–30 мин.

3 *Удаление излишков пенетранта*. Избыток пенетранта удаляется протиркой салфеткой, промыванием водой. Или тем же очистителем, что и на стадии предварительной очистки. При этом пенетрант должен быть удален с поверхности, но никак не из полости дефекта. Поверхность далее высушивается салфеткой без ворса или струей воздуха. Если при этом используется очиститель, то есть риск вымывания пенетранта и неправильной его индикации.

4 *Нанесение проявителя*. После просушки сразу же на объект контроля наносится проявитель, обычно белого цвета, тонким ровным слоем.

5 *Контроль*. Инспектирование объекта контроля начинается непосредственно после окончания процесса проявки и заканчивается, согласно разным стандартам, не более чем через 30 мин. Интенсивность окраски говорит о глубине дефекта: чем бледнее окраска, тем дефект мельче. Интенсивную ок-

раску имеют глубокие трещины. После проведения контроля проявитель удаляется водой или очистителем. Красящий пенетрант наносится на поверхность объекта контроля. Благодаря особым качествам, которые обеспечиваются подбором определенных физических свойств пенетранта: поверхностного натяжения, вязкости, плотности – он под действием капиллярных сил проникает в мельчайшие дефекты, имеющие выход на поверхность объекта контроля. Проявитель, наносимый на поверхность объекта контроля через некоторое время после осторожного удаления с поверхности пенетранта, растворяет находящийся внутри дефекта краситель и за счет диффузии “вытягивает” оставшийся в дефекте пенетрант на поверхность объекта контроля. Имеющиеся дефекты видны достаточно контрастно. Индикаторные следы в виде линий указывают на трещины или царапины, отдельные точки – на поры.

Важнейшим достоинством капиллярного контроля является то, что с его помощью можно как обнаружить сквозные и поверхностные дефекты, так и получить детальную информацию по их форме, расположению, протяженности и ориентации. В некоторых случаях можно даже установить причины возникновения дефекта. В качестве индикаторных жидкостей обычно используют так называемые органические люминофоры (вещества, которые дают яркое свечение под воздействием ультрафиолетовых лучей), а также различные виды красителей. Необходимым условием качественного выявления дефектов методом капиллярного контроля является относительная незагрязнённость объекта исследования различными посторонними веществами.

4.2 Техническое диагностирование кузовов и рам вагонов

В соответствии с ГОСТ 20911 понятие **«Техническая диагностика»** представляет собой область знаний, включающую теорию, методы и средства определения технического состояния диагностируемого объекта или правильности его функционирования.

Техническое состояние – характеристика в определённый момент времени свойств объекта, изменяющихся в эксплуатации и заданных признаками, установленными нормативно-технической документацией.

Диагностирование – процесс определения технического состояния объекта с помощью технических средств диагностирования с определённой точностью. В соответствии с ГОСТ 27518 *цель* технического диагностирования – поддержание установленного уровня надёжности, требований безопасности и эффективности использования объекта диагностики.

Вводится понятие «контролепригодность». В соответствии с ГОСТ 26656 под этим понимается свойство объекта, характеризующее его пригодность к проведению контроля технического состояния заданными методами и средствами технической диагностики. Контроль *технического со-*

стояния объекта – проверка соответствия значений параметров объекта требованиям нормативно-технической и конструкторской документации и определение одного из видов технического состояния.

В соответствии с ГОСТ 27.002 различают следующие *виды технического состояния*:

- работоспособное или неработоспособное;
- исправное или неисправное;
- предельное.

Неработоспособное состояние соответствует условию, когда значения хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные (требуемые) функции, не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и конструкторской документации; предельное состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно.

Ошибки диагностирования:

- пропуск дефекта или принятие неисправного объекта за исправный;
- ложное показание или принятие исправного объекта за неисправный.

4.2.1 Неисправности кузовов (котлов) и рам вагонов в процессе эксплуатации

Рамы вагонов в процессе эксплуатации изнашиваются и могут получать повреждения. К числу неисправностей относятся повреждения коррозией, местный износ, трещины, изломы и изгибы балок, а также нарушения прочности узлов соединения продольных и поперечных балок.

Коррозия развивается в местах скопления влаги или плохо окрашенных. Особенно сильно повреждаются рамы цистерн для перевозки кислот.

Внутренние поверхности стенок концов хребтовых балок изнашиваются корпусами поглощающих аппаратов. *Трещины* в балках часто появляются в местах расположения задних и передних упорных угольников автосцепного устройства, особенно у краев отверстий для заклепок, соединяющих угольники с хребтовой балкой, а также в местах приварки кронштейнов навесного оборудования.

Трещины в хребтовых балках цистерн наблюдаются не только в местах расположения упорных угольников автосцепки, но и в местах приварки нижних листов шкворневой и концевой балок, а также в местах приварки усиливающих надпятниковых накладок. В рамах цистерн встречаются также *изгибы и выпучивание* верхнего и нижнего листов поперечных балок, трещины в швах приварки диафрагмы к нижнему листу шкворневой балки, а также трещины в диафрагме возле скользунов.

Трещины в хребтовых, боковых продольных и других балках рам могут появиться в результате небрежного обращения с вагонами при маневрах и неправильной их эксплуатации, чрезмерно сильных толчков и ударов при

погрузке или выгрузке тяжеловесных грузов, недоброкачественного ремонта, перегрузки вагонов сверх допускаемых норм, нарушения правил торможения и ведения поезда локомотивом, неправильных приемов подъёмки груженых вагонов при ремонте.

Значительная часть повреждений **кузовов** грузовых вагонов возникает из-за неправильной погрузки и выгрузки грузов, а также из-за нарушений правил выполнения маневровых работ, особенно при спуске с сортировочных горок. Многие неисправности в кузовах появляются также вследствие недоброкачественного ремонта и отсутствия должного ухода за вагонами в эксплуатации.

Кузова крытых вагонов могут иметь следующие неисправности: повреждения крыши, обшивки стен; изгибы и изломы стоек, расколов, дуг, фрамуг, обвязочных поясов, разрушение сварных и заклепочных соединений в узлах обрешетки; повреждения двери и деталей ее подвески; повреждения рамок и запоров боковых люков, поручней и подножек; перекося и уширение кузова.

Многие повреждения и износ возникают от воздействия груза, который во время перевозки перемещается, особенно во время толчков. Насыпной груз оказывает распирающее действие.

Коррозионные повреждения котлов вагонов-цистерн зависят от свойств перевозимого груза. Наибольшие коррозионные повреждения наблюдаются в котлах вагонов-цистерн для перевозки кислот. По результатам обследования сотрудниками ОНИЛ «ТТОРЕПС», средняя скорость коррозии котлов для перевозки улучшенной серной кислоты составляет 0,05 мм/год, однако в отдельных случаях локальная коррозия верхнего листа в районе горловины за 18 лет достигает 3,5 мм. Скорость коррозии материала котлов вагонов-цистерн для перевозки нефтепродуктов составляет 0,02 мм/в год. На практике наблюдаются коррозии с большими скоростями, что свидетельствует о нарушении правил эксплуатации вагонов (перевозка грузов, не соответствующих специализации модели вагона).

В котлах вагонов-цистерн для перевозки нефтепродуктов наблюдается появление *трещин в броневом листе* в местах приварки фасонных лап, в районе сливного прибора, в районе лежневых опор. На средних и верхних листах наблюдаются трещины в месте приварки кронштейнов лестниц, ограждений, а также горловины котла и предохранительно-впускного клапана.

4.2.2 Методика технического диагностирования вагонов-цистерн с целью продления срока их службы

Натурные обследования технического состояния вагонов-цистерн для перевозки нефтепродуктов, проведённые работниками лаборатории, свидетельствуют о том, что примерно 60 % вагонов, выработавших нормативный

срок службы (32 года), не исчерпали полностью свой технический ресурс и после проведения мероприятий по его восстановлению могут эксплуатироваться на сети железных дорог колеи 1520 мм.

С целью оценки остаточного ресурса вагонов проводится техническое диагностирование. Методика технического диагностирования зависит от рода вагона, перевозимого груза, условий эксплуатации.

Методика технического диагностирования вагонов-цистерн предусматривает:

- визуальный контроль (наружный и внутренний осмотр);
- визуальный контроль сварных швов котла;
- неразрушающий контроль сварных швов котла;
- измерение толщин элементов котла и рамы;
- гидравлические (пневматические) испытания котла;
- оценку остаточного ресурса на основе прочностных расчётов котла и рамы вагона-цистерны с учётом утонения конструктивных элементов вследствие коррозионного износа и проведенных ранее ресурсных испытаний вагона – типового представителя.

На рисунке 4.9 представлена блок-схема контроля технического состояния вагонов-цистерн. Такой контроль проводится с целью выявления повреждений деталей и узлов рамы и котла в эксплуатации. Измерение толщин основных несущих элементов кузова и рамы осуществляется для определения фактической толщины металла и сравнения с исходными значениями толщины (определение величины коррозии за период эксплуатации). В задачу визуального контроля входит визуально и с помощью измерительных инструментов выявление отклонений геометрических размеров металлоконструкции котла и рамы обследуемого вагона от проектных размеров, выявление трещин, деформаций, других дефектов, а также определение зон углубленного исследования (при необходимости) материала и сварных соединений конструкций. В задачу неразрушающего контроля сварных швов входит выявление поверхностных и подповерхностных дефектов в сварном соединении и зоне термического влияния. Результаты контроля должны быть отражены в *протоколах (диагностических картах)*.

Прочностные расчёты проводятся для лимитирующего (наиболее неблагоприятного) расчетного случая по первому режиму с учётом уменьшения толщин конструктивных элементов за срок продления вследствие коррозионного износа от фактического значения.

Интервал продления срока назначается на основе оценки остаточного ресурса вагона после выполнения прочностных расчетов и с учетом ранее проведенных ресурсных испытаний вагона-цистерны – типового представителя.

Обработка результатов контроля технического состояния проводится для получения исходных данных при разработке технического решения о продлении срока службы конкретного вагона.

Критерии отказов и предельного состояния элементов вагона. При проведении технического диагностирования в качестве критериев отказа или предельного состояния принимается наличие неисправностей, угрожающих безопасности движения, препятствующих обеспечению сохранности перевозимого груза, вызывающих нарушение габаритных очертаний вагонов.

Виды неисправностей и повреждений, которые подлежат выявлению при обследовании технического состояния вагонов-цистерн, приведены в таблице 4.2.



Рисунок 4.9 – Блок-схема контроля технического состояния вагонов-цистерн

Таблица 4.2 – **Виды повреждений основных несущих элементов вагонов-цистерн**

Узел	Характеристика отказа или предельного состояния
1 Рама	1.1 Трещины хребтовой балки в зоне упоров
	1.2 Трещины, в узлах сочленения хребтовой и шкворневых кронштейнов
	1.3 Трещины, сквозная коррозия хребтовой балки в средней части
	1.4 Выпучивание верхнего листа хребтовой балки в средней или консольной частях
	1.5 Прогиб хребтовой балки в вертикальном и горизонтальном направлениях более 25 мм
	1.6 Вертикальный и горизонтальный прогибы шкворневых балок более 10 мм
	1.7 Коррозионный износ хребтовой балки более 30 % поперечного сечения
	1.8 Трещины по сварке и основного металла шкворневой балки, вмятины листов
	1.9 Коррозия шкворневой балки более 30 %
	1.10 Излом, изгиб и вмятины концевой балки
	1.11 Излом, трещины, износ ударной розетки
	1.12 Отклонение от плоскостности (пропеллерность) рамы цистерны более 70 мм на 1 м длины или более 200 мм на всю длину рамы
2 Котел	2.1. Пробоины, трещины и вмятины днища
	2.2. Пробоины, трещины и вмятины продольных и броневых листов
	2.3. Трещины сварного шва горловины
	2.4. Коррозия обечайки котла более 30 %
	2.5. Коррозия днища более 30 %
	2.6. Отслаивание металла котла
	2.7. Трещина сварного шва приварки днища
	2.8. Трещины сварных швов приварки листов обечайки
	2.9. Наличие ремонтных заплат, накладок, вставок
	2.10. Коррозионные язвы обечайки и днища
	2.11 Повреждения или некомплектность сливо-наливной аппаратуры
	2.12 Нарушения герметичности теплоизоляции котла
3 Элементы крепления котла на раме	3.1 Трещины сварных швов фасонных лап котла
	3.2 Ослабление или срез болтов крепления фасонных лап рамы и котла
	3.3 Износ отверстий фасонных лап рамы и котла
	3.4 Трещины сварных швов приварки лап рамы
	3.5 Повреждение лежневой опоры
	3.6 Ослабление хомута

Окончание таблицы 4.2

Узел	Характеристика отказа или предельного состояния
4 Элементы крепления тормозного оборудования	4.1 Ослабление, излом крепления тормозного цилиндра
	4.2 Ослабление, излом крепления воздухораспределителя
	4.3 Ослабление, излом крепления запасного резервуара
	4.4 Ослабление, излом крепления тормозной магистрали и подводящих трубок
	4.5 Ослабление, излом поддерживающих и предохранительных скоб
	4.6 Ослабление, излом крепления авторежима
5 Поручни и подножки	5.1 Излом, изгиб и повреждения поручней и подножек
	5.2 Излом, изгиб и повреждения лестниц
	5.3 Излом, изгиб и повреждения кронштейнов лестниц
	5.4 Излом, изгиб и повреждения ограждения лестниц
6 Устройства, укрепленные на концевой балке	6.1 Ослабление крепления, обрыв кронштейна рычага расцепления
	6.2 Ослабление крепления, обрыв державки рычага расцепления
	6.3 Износ или трещина ударной розетки

При обнаружении в процессе обследования неисправностей рам по пунктам 1.1–1.3, 1.5–1.7, 1.9, 1.12 таблицы 4.2 рамы вагонов восстановлению и ремонту не подлежат. В этом случае котел может быть направлен в капитальный ремонт с продлением срока службы (КРП) с заменой рамы.

При обнаружении у котла вагона неисправностей по пп. 2.1–2.4 таблицы 4.2, требующих замены обеих днищ, одного днища и одного продольного листа, двух продольных листов, вагон восстановлению и ремонту не подлежит.

Порядок проведения контроля технического состояния вагонов, измерение толщин элементов кузова и рамы и неразрушающий контроль. Перед началом контроля технического состояния необходимо определить модель вагона-цистерны, характер перевозимого груза и степень его влияния на материал кузова вагона в различных условиях.

Обследование технического состояния производится путем визуального осмотра узлов и деталей вагонов для выявления трещин и повреждений в элементах конструкции вагонов, контрольное обстукивание молотком элементов болтовых и заклёпочных соединений с целью выявления ослабления их крепления (при необходимости – контрольный демонтаж). В первую очередь обследуются зоны, элементы и узлы наиболее ответственных и несущих конструкций:

– *рамы*: узел соединения хребтовой со шкворневой балкой; зоны: упорных угольников, крепления фасонных лап, крепления навесного оборудования;

– *котла* цистерны: сварные соединения элементов котла; зоны приварки фасонных лап и опорные, места коррозии и приложения внешних нагрузок.

Затем производится толщинометрия основных несущих элементов конструкции вагона при помощи ультразвукового толщиномера с целью выявления зон и степени толщины элементов металлоконструкций.

На следующем этапе производится неразрушающий контроль сварных швов котла для III группы.

Выявленные неисправности заносятся в карту обследования технического состояния, в которой приводятся реквизиты вагонов (модель, номер, год постройки, даты периодических ремонтов, принадлежность, назначение), неисправности, отражённые в текстовом виде и на эскизах с указанием их местоположения и размеров (приложение А).

При проведении контроля технического состояния вагонов-цистерн, измерений толщин элементов кузова и рамы используются следующие инструменты и приборы:

- линейка измерительная не менее 300 мм по ГОСТ 427;
- рулетка измерительная по ГОСТ 7502;
- ультразвуковой толщиномер с погрешностью измерения 0,1 мм;
- ультразвуковой дефектоскоп УД 2-70 или УД 2-102;
- штангенциркуль по ГОСТ 166;
- кронциркуль;
- индикатор-глубиномер;
- лупа с 4-кратным увеличением по ГОСТ 25706;
- фонарь;
- молоток с ручкой длиной 0,6-0,7 м массой до 300 г.

Трещины, изломы, изгибы, вмятины, скручивание, разрывы в элементах металлоконструкции определяют визуально с последующими за мерами величин дефектов.

Измерение толщин основных несущих элементов металлоконструкции производится независимо от того, обнаружен или не обнаружен дефект этих элементов визуально. Фактическую толщину сечения измеряемых элементов металлоконструкции принимают наименьшей из замеренных на участках, в наибольшей степени подверженных коррозии или трещинам. За начальную толщину принимают значения, указанные в конструкторской документации (проектные значения).

Глубину местных коррозионных каверн определяют путем непосредственного измерения индикатором-глубомером. Допустимая глубина местных коррозионных каверн в несущих элементах металлоконструкции составляет не более 2 мм.

Величину прогибов и выпучиваний элементов металлоконструкции определяют прикладыванием прямолинейной рейки или с помощью натянутой нити в зависимости от длин измеряемых деформированных элементов металлоконструкции.

Измерение фактической толщины элементов кузова и рамы производится с помощью ультразвукового толщиномера с погрешностью не хуже 0,1 мм. В отдельных случаях (при выявлении локальных мест коррозии) измерение толщин должно дополнительно производиться на дефектных участках с указанием их месторасположения на схеме. Перед измерением толщин элементов котла и рамы поверхность должна быть очищена от грязи и лакокрасочных покрытий до металла с помощью скребка, шабера (наждачной бумаги). Шероховатость поверхности – не хуже $Rz = 40$.

Ультразвуковой контроль сварных соединений приварки фасонных лап к котлу на длине 100 мм в районе окончаний производится с помощью ультразвукового дефектоскопа УД 2-70 или УД 2-102 и пьезоэлектрического преобразователя П121-5-70. Перед проведением контроля поверхность сварного соединения и околошовная зона должны быть очищены от брызг металла, грязи, краски, окалины. Шероховатость поверхности должна быть не хуже $Rz = 40$. Ширина зоны зачистки – 100 мм.

Ультразвуковой контроль сварных швов выполняется в соответствии с ГОСТ 14782.

Места пересечения сварных швов (не менее 100 мм от точки их пересечения) и продольные сварные швы соединения нижнего и боковых листов в районе опор на длине 1500 мм контролируют магнитопорошковой дефектоскопией в соответствии с СТБ ЕН 1290. Перед проведением контроля поверхность сварного соединения и околошовная зона с двух сторон от шва должна быть очищена от брызг металла, грязи, краски, окалины. Шероховатость поверхности должна быть не хуже $Rz = 40$. Ширина зоны зачистки – 40 мм.

Контроль зон крепления универсального сливного прибора в местах наиболее вероятного образования трещин проводят магнитопорошковой дефектоскопией в соответствии с ГОСТ 21105. Шероховатость поверхности должна быть не хуже $Rz = 63$. Ширина зоны зачистки – не менее 80 мм.

На заключительном этапе производятся *гидравлические испытания котла* давлением 0,39 МПа ($4,0 \text{ кгс/см}^2$) в течение 10 мин. Гидравлические испытания и проверка предохранительного клапана проводятся при выполнении назначенного вида ремонта.

Применяемые средства измерений должны быть технически исправными, поверенными в установленном порядке.

Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций вагонов после длительной эксплуатации. Расчетно-экспериментальная методика основана на подходе, изложенном в «Нормах для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» 1996 г. и РД 24. 050.37–95 “Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества” и предназначена для оценки остаточного ресурса металлоконструкций вагонов после длительной эксплуатации. В методике приняты следующие допущения:

- усталостное повреждение или разрушение материала вагона в основном происходит при упругом деформировании;
- параметром, определяющим циклическую прочность, являлся коэффициент запаса сопротивления усталости;
- справедлива линейная гипотеза суммирования усталостных повреждений;
- для неустановившегося режима нагружения амплитудные значения динамических напряжений приводятся к эквивалентному симметричному циклу.

Коэффициент запаса сопротивления усталости определяется по формуле

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,\varepsilon}} \geq [n], \quad (4.3)$$

где $\sigma_{a,N}$ – предел выносливости (по амплитуде) для контрольной зоны при симметричном цикле и установившемся режиме нагружения при базовом числе циклов; $\sigma_{a,\varepsilon}$ – величина амплитуды динамического напряжения условного симметричного цикла, приведенная к базовому числу циклов N_0 , эквивалентная повреждающему воздействию реального режима эксплуатационных напряжений за расчетный срок службы; $[n]$ – минимально допустимый коэффициент запаса сопротивления усталости за выбранный срок службы.

Расчетное значение $\sigma_{a,N}$ определяется по формуле

$$\sigma_{a,N} = \bar{\sigma}_{a,N} (1 - z_p v_{\sigma_{a,N}}), \quad (4.4)$$

где $\bar{\sigma}_{a,N}$ – среднее значение предела выносливости контрольной зоны, $\bar{\sigma}_{-1}$ – среднее значение предела $\bar{\sigma}_{a,N} = \frac{\bar{\sigma}_{-1}}{k_\sigma}$; выносливости гладкого стандартного образца из материала (по ГОСТ 25.502) при симметричном цикле изгиба на базе $N_0 = 107$ циклов; \bar{k}_σ – среднее значение общего коэффициента снижения предела выносливости в выбранной контрольной зоне по отношению к пределу выносливости гладкого стандартного образца; z_p – квантиль распределения $\sigma_{a,N}$, соответствующий односторонней вероятности 95 %; $v_{\sigma_{a,N}}$ – коэффициент вариации предела выносливости материала.

$$\bar{\sigma}_{a,N} = \frac{\bar{\sigma}_{-1}}{k_\sigma}, \quad (4.5)$$

Таким образом, $\sigma_{a,\varepsilon}$ – параметр, включающий в себя срок службы металлоконструкции. Для его определения при k режимах нагружения воспользуемся формулой

$$\sigma_{a,\varepsilon} = \sqrt[m]{\sum_k \left[\frac{N_c^k}{N_0} \sum_i (\sigma_{ai}^k)^m \cdot p_i^k \right]}, \quad (4.6)$$

где m – показатель степени в уравнении кривой усталости в амплитудах; N_c^k – суммарное число циклов динамических напряжений за расчетный срок службы котла для k -го режима нагружения; N_0 – базовое число циклов; σ_{ai}^k – уровень амплитуд напряжений в i -м интервале k -го режима нагружения; σ_{ai}^k – уровень амплитуд напряжений в i -м интервале k -го режима нагружения; p_i^k – вероятность (частота) действия уровня амплитуд $\sigma_{a,\varepsilon}$ в i -м интервале k -го режима нагружения.

Суммарное число циклов для k -го режима представим в виде

$$N_c^k = K_k T_p,$$

где K_k – коэффициент, связывающий суммарное число циклов динамических напряжений с расчетным суммарным сроком службы для k -го режима нагружения; T_p – суммарный расчетный срок службы.

Амплитудные значения динамических напряжений для неустановившегося режима нагружения, полученные по результатам натурных испытаний продлеваемого вагона, приводятся к эквивалентному симметричному циклу:

$$\sigma_a = \sigma_a^{\text{исп}} + \psi_\kappa \sigma_m^{\text{исп}},$$

где $\sigma_a^{\text{исп}}$ – амплитуда динамического напряжения, полученная по результатам испытаний при несимметричном цикле нагружения; ψ_κ – коэффициент чувствительности асимметрии цикла нагружения,

$$\psi_\kappa = \frac{0,02 + 2 \cdot 10^{-4} \sigma_b}{(\bar{k}_\sigma)}$$

σ_b – временное сопротивление разрушению (подставляется в МПа); σ_m – среднее напряжение цикла, полученное по результатам испытаний.

Таким образом,

$$\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m = \sum_k \left[\frac{K_k T_p}{N_0} \sum_i (\sigma_{ai}^k)^m \cdot p_i^k \right];$$

$$T_p = N_0 \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m}{\sum_k \left[K^k \sum_i (\sigma_{ai}^k)^m \cdot p_i^k \right]}.$$

Уровень амплитуд напряжений σ_{ai}^k определяется экспериментальными методами с коррекцией на возможное изменение в связи с коррозионным износом в зависимости от типа грузового вагона: при действии вертикальных динамических нагрузок во время эксплуатации, от действия продольных ударных сил, при выполнении погрузочно-разгрузочных операций, ремонтных режимов и т. п.

Если по результатам расчетов остаточный ресурс окажется исчерпанным, то по решению организации-исполнителя работ по продлению срока службы, согласованному с администрацией железной дороги, а также исходя из технико-экономической целесообразности, проводятся ресурсные испытания, при которых должны быть учтены особенности эксплуатационной нагруженности соответствующего типа вагона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Белов, И. В. Математические методы в планировании на железнодорожном транспорте / И. В. Белов, А. Б. Каплан. – М. : Транспорт, 1972. – 247 с.

2 Организация вагонопотоков и маршрутизация перевозок / В. М. Акулиничев [и др.]. – М. : Транспорт, 1970 – 319 с.

3 Балашевич, В. А. Математические методы в управлении производством / В. А. Балашевич. – Минск : Выш. шк., 1976. – 334 с.

4 Бараш, Ю. С. Исследование характера влияния программы ремонта вагонов на величину капитальных вложений, потребных на развитие депо / Ю. С. Бараш, В. И. Сенько. – Гомель : БелИИЖТ, 1981. – 9 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 15.10.81 г., № 1513.

5 Беллман, Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус. – М. : Наука, 1965. – 458 с.

6 Бараш, Ю. С. Оптимизация развития деповской вагоноремонтной базы на полигоне железной дороги : учеб. пособие / Ю. С. Бараш, В. И. Сенько. – Гомель : БелИИЖТ, 1988. – 49 с.

7 Бараш, Ю. С. Поточные линии гибкого маневрирования / Ю. С. Бараш, В. И. Сенько, А. Ф. Люлько // Железнодорожный транспорт. – 1987. – № 2. – С. 64–65.

8 Кобринский, Н. Е. Точность экономико-математических моделей / Н. Е. Кобринский, В. И. Кузьмин. – М. : Финансы и статистика, 1981. – 255 с.

9 Типовой проект организации труда на вагоносборочном производственном участке вагонного депо. – М. : Транспорт, 1986. – 91 с.

10 Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. Руководство по деповскому ремонту, 2010. – 134 с.

11 Руководящий документ. Руководство по капитальному ремонту грузовых вагонов, 2010. – 136 с.

12 Патент № 4295427 США, МПК В 61 К5/00. Поточная линия ремонта полувагонов / Ватерман Ф. В. [и др.]. – 1981.

13 Нормы технологического проектирования депо для ремонта грузовых и пассажирских вагонов. – М. : Транспорт, 1987. – 33 с.

14 Инструкция по сварке и наплавке узлов и деталей при ремонте грузовых вагонов, 2015. – 188 с.

15 Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1979. – 702 с.

16 Типовой технологический процесс деповского ремонта грузовых вагонов. – М. : Транспорт, 1969. – 97 с.

17 Типовые нормы времени на слесарные работы при деповском ремонте вагонов с учетом применения поточно-конвейерных линий. – М. : Транспорт, 1985. – 248 с.

18 Крагельский, И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. – М. : Машиностроение, 1978. – 480 с.

19 Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами пассажирских вагонов магистральных железных дорог коле 1520 (1524) мм, 2012. – 276 с.

20 Нормы для расчета и проектирования новых модернизированных вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм / ВНИИЖТ. – М., 1983. – 260 с.

21 *Мерч, Х.* Формирование и демонтаж колесных пар / Х. Мерч // Железные дороги мира. – 1985 – № 9. – С. 75–76.

22 Способ напрессовки цилиндрических втулок на оси : а. с. № 258835 СССР, МПК В 23 Р 19/02 / И. Л. Чернин, Н. З. Криворучко. – № 1265354/25-27; заявл. 14.08.1968; опубл. 03.12.1969, Бюл. № 1 за 1970. / Комитет по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР. – 2 с. : ил.

23 Устройство для сборки с натягом деталей типа вал – втулка : а. с. № 1402419 СССР, МПК В 23 Р 19/02 / И. Л. Чернин. – № 4119862; заявл. 16.06.1986; опубл. 15.06.88, бюл. № 22 / Комитет СССР по делам изобретений и открытий. – 2 с. : ил.

24 *Чернин, И. Л.* Механизация демонтажа и сборки соединений с гарантированным натягом в вагоностроении и вагоностроительном производстве / И. Л. Чернин // Повышение эффективности технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов : междуз. сб. науч. тр. / Белорус. ин-т ж.-д. трансп. – Гомель, 1987. – С. 28–35.

25 Устройство для сборки с натягом соединений деталей типа вал – втулка : а. с. 1541002 СССР, МПК В 23 Р 19/02 / И. Л. Чернин, Н. В. Овчинникова. – № 4403219; заявл. 4.04.1988; опубл. 07.02.1990, Бюл. № 5 / Гос. комитет по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР. – 2 с. : ил.

26 Способ облицовки цилиндрических деталей полимером : а. с. № 324165 МПК В 29 с 13/00 / В. А. Белый, И. Л. Чернин, А. И. Свириденко. – № 1262029/23-5; заявл. 31.07.1968; опубл. 23.12.1971, Бюл. № 2 за 1972 / Комитет по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР. – 2 с. : ил.

27 Устройство для сборки с натягом деталей типа вал – втулка а. с. № 1530403 СССР, МПК В 23 Р 19/02 / И. Л. Чернин, А. Д. Железняков, Л. В. Решетько, Н. В. Овчинникова. – № 4366094; заявл. 11.12.1987; опубл. 23.12.89, Бюл. № 47 / Гос. комитет по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР. – 2 с. : ил.

28 *Чернин, И. Л.* Определение параметров гидропрессования при сборке-разборке соединений с гарантированным натягом / И. Л. Чернин // Совершенствование конструкции и технологии изготовления вагонов : междуз. сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 1994. – С. 67–73.

29 *Петренко, В. А.* Натяги и зазоры в роликовых подшипниках букс вагонов / В. А. Петренко, В. Н. Цюренко. – М. : Транспорт, 1986. – 42 с.

30 *Цюренко, В. Н.* Опыт эксплуатации вагонов с буксовыми узлами на подшипниках качения / В. Н. Цюренко // Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения : тр. ВНИИЖТ. Вып. 654. – М. : Транспорт, 1982. – С. 26–30.

31 *Цюренко, В. Н.* Надежность роликовых подшипников в буксах вагонов / В. Н. Цюренко, В. А. Петров. – М. : Транспорт, 1982. – 95 с.

32 Устройство для сборки запрессовкой деталей типа вал – втулка : а. с. № 1507559 СССР, МПК В 23 Р 19/02 / и.л. Чернин, И. И. Коломиец, В. А. Богаченко. – № 4336720/31-27; заявл. 20.07.1987; опубл. 15.09.1989, Бюл. № 34 / Гос комитет по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР. – 2 с. : ил.

33 Устройство для сборки и разборки запрессовкой деталей типа вал – втулка : а. с. № 1685669 СССР, МПК В 23 Р 19/02 / И. Л. Чернин, В. И. Сенько, Н. В. Овчинникова. – № 4646726; заявл. 06.02.1989; опубл. 23.10.1991, бюд. № 39/ Гос. комитет по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР. – 2 с : ил.

34 Устройство для сборки запрессовкой деталей типа вал – втулка : а. с. № 1750912 СССР, МПК В 23Р 19/02 / И. Л. Чернин, В. И. Сенько, Н. В. Овчинникова, В. Я. Дубовик. – № 4694834/37; заявл. 24.05.1989; опубл. 30.07.1992, Бюл. № 28 / Гос. комитет по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР. – 2 с. : ил.

35 Устройство для сборки и разборки запрессовкой деталей типа вал – втулка : а. с. № 1523300 СССР, МПК В 23 Р 19/02 / И. Л. Чернин, О. И. Пустоход, В. Н. Дмитроченко, В. И. Сенько. – № 4396947/25-27; заявл. 23.08.1988; опубл. 23.11.1989, Бюл. № 43 / Гос. комитет по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР. – 2 с. : ил.

36 Устройство для разборки соединений деталей типа вал – втулка : а. с. 1588529 СССР, МПК В 23 Р 19/02 / И. Л. Чернин, Т. В. Захарова, В. И. Сенько, И. В. Свиридова. – № 4360148/31-27; заявл. 08.12.1987; опубл. 30.08.1990, Бюл. № 32 / Гос. комитет по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР. – 2 с. : ил.

37 Устройство для нанесения полимерного покрытия на внутреннюю поверхность трубы : а. с. 1783721 СССР, МПК В 29 С 45/14 / И. Л. Чернин, П. В. Сысоев, Л. Н. Гагина. – № 4675706; заявл. 11.04.1989; для служебного пользования / Гос. патентное ведомство СССР (ГОСПАТЕНТ СССР).

38 *Ножевников, А. Н.* Поточно-конвейнерные линии ремонта вагонов / А. Н. Ножевников. – М. : Транспорт, 1980. – 136.

39 *Коломийченко, В. В.* Автосцепное устройство подвижного состава / В. В. Коломийченко. – М. : Транспорт, 1980. – 185 с.

40 *Сенько, В. И.* Грузовое вагонное депо : учеб. пособие для студ. спец. «Вагоны и вагонное хоз-во» / В. И. Сенько, И. Л. Чернин. – Гомель : БелИИЖТ. 1980, 1981, 1983. – Ч. I. – 1980. – 67 с.; Ч. II. – 1981. – 53 с.; Ч. III. – 1983. – 65 с.

41 Генеральные планы промышленных предприятий: Нормы проектирования. – М. : Стройиздат, 1976. – 33 с.

42 *Сенько, В. И.* Оптимизация развития деповской вагоноремонтной базы на полигоне железной дороги / В. И. Сенько, Ю. С. Бараш – Гомель : БелИИЖТ, 1986. – 49 с.

43 Методика определения причин изломов шеек осей и разрушения роликовых буксовых узлов / МПС – ВНИИЖТ. – М., 1991. – 38 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

КАРТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВАГОНОВ

А.1 Карта обследования технического состояния 4-осной цистерны

№ _____

Модель	Дата постройки	Место постройки	Дата и место КР	Дата и место ДР	Перевозимый груз	Примечание
Место обследования		Дата обследования		Собственник		

**ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОСНОВНЫХ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ
ВАГОНОВ-ЦИСТЕРН**

1 Рама кузова		
1.1 Трещины хребтовой балки в зоне упоров		
1.2 Трещины в узлах сочленения хребтовой и шкворневой балок (переход на вертикальную полку/непереход)		
1.3 Трещины хребтовой балки в средней части (переход на вертикальную полку/не переход)		
1.4 Выпучивание верхнего листа хребтовой балки в районе хвостовика автосцепки		
1.5 Вертикальный прогиб хребтовой балки более чем на 50 мм		
1.6 Горизонтальный прогиб хребтовой балки более чем на 20 мм		
1.7 Коррозионный износ хребтовой балки более 30 % на длине		
1.8 Трещины по сварке и основного металла шкворневой балки, вмятины листов		
1.9 Коррозия шкворневой балки более 30 %		
1.10 Излом, изгиб и вмятины концевой балки		
1.11 Излом, трещины, износ ударной розетки		
1.12 Отклонение от плоскостности (пропеллерность) рамы цистерны более 70 мм на 1 м длины или более 200 мм на всю длину рамы		
2 Котел		
2.1 Пробоины, трещины и вмятины днища		
2.2 Пробоины, трещины и вмятины продольных и броневых листов		
2.3 Трещины сварного шва горловины		
2.4 Коррозия обечайки котла более 30 %		
2.5 Коррозия днища более 30 %		
2.6 Отслаивание металла котла		
2.7 Трещина сварного шва приварки днища		
2.8 Трещины сварных швов приварки листов обечайки		
2.9 Наличие ремонтных заплат, накладок, вставок		

2.10 Коррозионные язвы обечайки и днища		
2.11 Повреждения или некомплектность сливо-наливной аппаратуры		
2.12 Нарушений герметичности теплоизоляции котла		
3 Элементы крепления котла на раме		
3.1 Трещины сварных швов фасонных лап котла		
3.2 Ослабление или срез болтов крепления фасонных лап рамы и котла		
3.3 Износ отверстий фасонных лап рамы и котла		
3.4 Трещины сварных швов приварки лап рамы		
3.5 Повреждение лежневой опоры		
3.6 Ослабление хомута		
4 Элементы крепления тормозного оборудования		
4.1 Ослабление, излом крепления тормозного цилиндра		
4.2 Ослабление, излом крепления воздухораспределителя		
4.3 Ослабление, излом крепления запасного резервуара		
4.4 Ослабление, излом крепления тормозной магистрали и подводящих трубок		
4.5 Ослабление, излом поддерживающих и предохранительных скоб		
4.6 Ослабление, излом крепления авторежима		
5 Поручни и подножки		
5.1 Излом, изгиб и повреждения поручней и подножек		
5.2 Излом, изгиб и повреждения лестниц		
5.3 Излом, изгиб и повреждения кронштейнов лестниц		
5.4 Излом, изгиб и повреждения ограждения лестниц		
6 Устройства, укрепленные на концевой балке		
6.1 Ослабление крепления, обрыв кронштейна рычага расцепления		
6.2 Ослабление крепления, обрыв державки рычага расцепления		
6.3 Износ или трещина ударной розетки		

ПРИМЕЧАНИЯ

- 1 Неисправность подчеркнуть.
- 2 Указать количество дефектов.
- 3 Размеры дефекта фиксировать на эскизах.
- 4 Наличие неисправности.
- 5 Устраненная неисправность.
- 6 Отсутствие неисправности.

7 Инструкция МУ 09150.16.002-2000.
8 СТБ 1133.

ПРИМЕНЯЕМЫЙ ИНСТРУМЕНТ:
– линейка измерительная ГОСТ 427;
– рулетка измерительная по ГОСТ 7502;
– штангенциркуль по ГОСТ 166;
– лупа с 4-кратным увеличением

Диагностику произвёл:

(Ф. И. О.)

(подпись)

(Ф. И. О.)

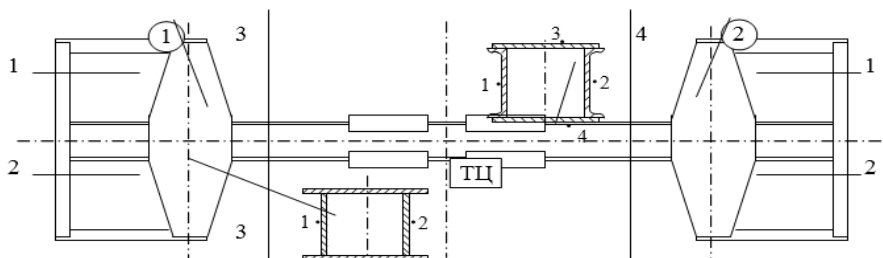
(подпись)

Технический руководитель:

(Ф. И. О.)

(подпись)

Протокол измерения толщин элементов рамы вагона-цистерны №



Балка	Сечение	№ точки	Толщина, мм		
			номинальная	фактическая	предельная
Хребтовая	3	1	11,5		8,1
		2	11,5		8,1
		3	7,0		4,9
		4	7,0		4,9
	4	1	11,5		8,1
		2	11,5		8,1
		3	7,0		4,9
		4	7,0		4,9
1 Шкворневая	1	1	8,0		5,6
		2	8,0		5,6
	2	1	8,0		5,6
		2	8,0		5,6
2 Шкворневая	1	1	8,0		5,6
		2	8,0		5,6
	2	1	8,0		5,6
		2	8,0		5,6

1 Ультразвуковой толщиномер ____, заводской № _____, на частоте _____ МГц
(свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.)

2 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.

3 ГОСТ 12503-75, ГОСТ 23479-79.

4 Инструкция МУ 09150.16.002-2000.

5 Температура окружающей среды: _____ °С.

Диагностику произвёл:

(Ф. И. О.)

(подпись)

(Ф. И. О.)

(подпись)

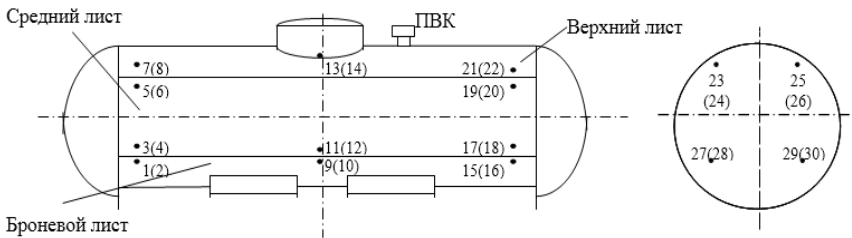
Технический руководитель:

(Ф. И. О.)

(подпись)

**Протокол измерения толщин элементов котла
вагона-цистерны № _____**

Толщина	Калибр	Листы котла			
		броневой	средний	верхний	днище
Номи- нальная	25, 53a	11	9	9	12
	25a	11	9	8	12
	53	11	11	8	12
	62	11	9	9	10
Мини- мально допусти- мая	66	11	10	9	12
	25, 53a	7,7	7,1	7,1	8,4
	25a	7,7	7,1	7,1	8,4
	53	7,7	7,7	7,1	8,4
	62	7,7	7,1	7,1	7,0
	66	7,7	7,1	7,1	8,4



№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Толщина, мм										
№ точки	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Толщина, мм										
№ точки	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Толщина, мм										

- 1 Ультразвуковой толщиномер _____, заводской № _____ на частоте _____ МГц.
- 2 Свидетельство о Гос. проверке № _____, годен до _____ г.
- 3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.
- 4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны котла.
- 5 ГОСТ 12503-75, ГОСТ 23479-79.
- 6 Инструкция МУ 09150.16.002-2000.
- 7 Температура окружающей среды: _____ °С.

Диагностику произвёл:

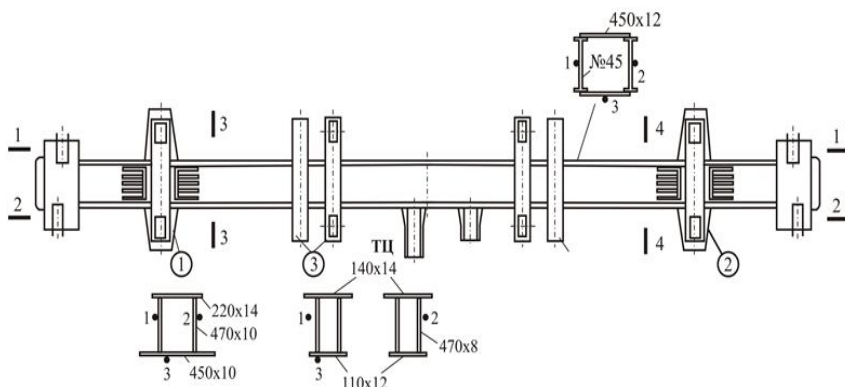
_____ (Ф. И. О.) _____ (подпись)

_____ (Ф. И. О.) _____ (подпись)

Технический руководитель:

_____ (Ф. И. О.) _____ (подпись)

**Протокол измерения толщин элементов нижней рамы
вагона-самосвала № _____**



Балка	Сече- ние	Толщина в точках, мм								
		номинальная			фактическая			предельная		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 Хребтовая	3	9	9	12				6,3	6,3	8,4
	4	9	9	12				6,3	6,3	8,4
2 Шкворневая	1	10	10	10				7,0	7,0	7,0
	2	10	10	10				7,0	7,0	7,0
3 Шкворневая	1	10	10	10				7,0	7,0	7,0
	2	10	10	10				7,0	7,0	7,0
4 Цилиндровая *	1	8	8	12				5,6	5,6	8,4
	2	8	8	12				5,6	5,6	8,4

*Толщины элементов цилиндрических балок измеряют у наиболее корродированных (на схеме указать).

- 1 Ультразвуковой толщиномер __, заводской № _____, на частоте _____ МГц.
- 2 Свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.
- 3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.
- 4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны котла.
- 5 ГОСТ 12503–75, ГОСТ 23479–79.
- 6 Инструкция МУ 09150.16.002–2000.
- 7 Температура окружающей среды: _____ °С.

Диагностику произвёл:

(Ф. И. О.)

(подпись)

(Ф. И. О.)

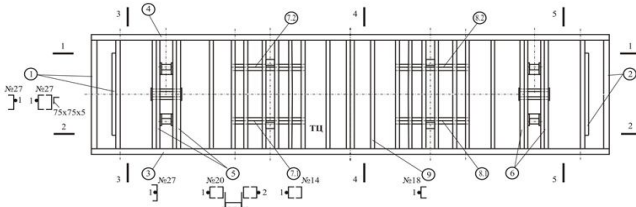
(подпись)

Технический руководитель:

(Ф. И. О.)

(подпись)

**Протокол измерения толщин элементов котла
вагона-цистерны № _____**



Балка	Сече- ние	Толщина в точках, мм		
		номинальная	фактическая	предельная
1 Балка концевая*	1	7,0		4,9
	2	7,0		4,9
2 Балка концевая*	1	7,0		4,9
	2	7,0		4,9
3 Балка боковая	3	7,0		4,9
	4	7,0		4,9
	5	7,0		4,9
4 Балка боковая	3	7,0		4,9
	4	7,0		4,9
	5	7,0		4,9
5 Балка шкворневая	1	5,2		3,6
	2	5,2		3,6
6 Балка шкворневая	1	5,2		3,6
	2	5,2		3,6
7.1 Балка продольная средняя	—	4,9		3,4
7.2 Балка продольная средняя	—	4,9		3,4
8.1 Балка продольная средняя	—	4,9		3,4
8.2 Балка продольная средняя	—	4,9		3,4
9 Балка поперечная промежу- точная	1	5,1		3,6
	2	5,1		3,6

1 Ультразвуковой толщиномер _____, заводской № _____ на частоте _____ МГц.

2 Свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.

3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.

4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны котла.

5 ГОСТ 12503–75, ГОСТ 23479–79.

6 Инструкция МУ 09150.16.002–2000.

7 Температура окружающей среды: _____ °С.

Диагностику произвёл:

(Ф. И. О.)

(подпись)

(Ф. И. О.)

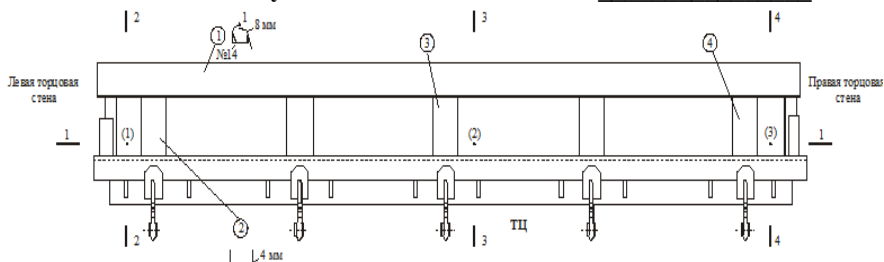
(подпись)

Технический руководитель:

(Ф. И. О.)

(подпись)

Протокол измерения толщин элементов боковой стены кузова вагона-самосвала № _____



Наименование элемента	Сечение	Толщина в точках, мм								
		номинальная			фактическая			предельная		
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Обшивка	1	8	8	8				5,6	5,6	5,6
1 Верхняя обвязка	2	6	-	-				4,2	-	-
	3	6	-	-				4,2	-	-
	4	6	-	-				4,2	-	-
2 Стойка	1	4	-	-				2,8	-	-
3 Стойка		4	-	-				2,8	-	-
4 Стойка		4	-	-				2,8	-	-

1 Ультразвуковой толщиномер _____, заводской № _____ на частоте _____ МГц.

2 Свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.

3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.

4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны котла.

5 ГОСТ 12503–75, ГОСТ 23479–79.

6 Инструкция МУ 09150.16.002–2000.

7 Температура окружающей среды: _____ °С.

Диагностику произвёл:

(Ф. И. О.)

(подпись)

(Ф. И. О.)

(подпись)

Технический руководитель:

(Ф. И. О.)

(подпись)

**Протокол измерения толщин элементов
торцовых стен кузова вагона-самосвала № _____**

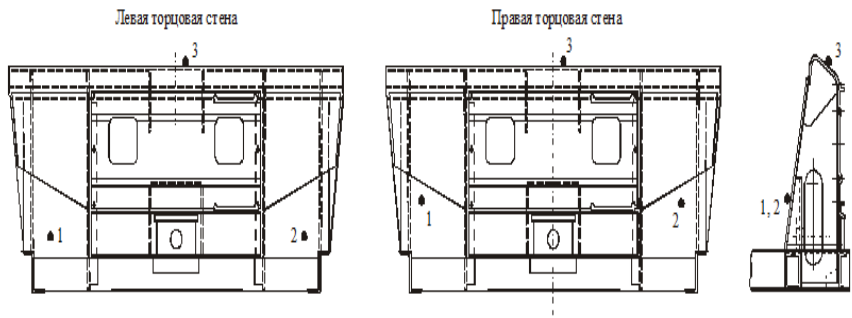


Таблица измерения толщин левой торцовой стены

Наименование элемента	№ точки	Толщина в точках, мм		
		номинальная	фактическая	предельная
Обшивка	1	7,0		4,9
	2	7,0		4,9
Верхняя обвязка	3	6,0		4,2

Таблица измерения толщин правой торцовой стены

Наименование элемента	№ Точки	Толщина в точках, мм		
		номинальная	фактическая	предельная
Обшивка	1	7,0		4,9
	2	7,0		4,9
Верхняя обвязка	3	6,0		4,2

- 1 Ультразвуковой толщиномер __, заводской № ____, на частоте ____ МГц.
- 2 Свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.
- 3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.
- 4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны когла.
- 5 ГОСТ 12503–75, ГОСТ 23479–79.
- 6 Инструкция МУ 09150.16.002–2000.
- 7 Температура окружающей среды: ____ °С.

Диагностику произвёл:

(Ф. И. О.) (подпись)

(Ф. И. О.) (подпись)

Технический руководитель:

(Ф. И. О.) (подпись)

А.2 Карта обследования технического состояния крытого вагона № _____

Мо- дель	Дата постройки	Место постройки	Дата и место КР	Дата и место ДР	Перевозимый груз	Примеча- ние
Место обследова- ния		Дата обследования		Собственник		

ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОСНОВНЫХ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЫТЫХ ВАГОНОВ

1 РАМА		2 КУЗОВ	
1.1 Трещины хребтовой балки в зоне упо- ров	2.1 Трещины, изломы и прогибы верхней обвязки		
1.2 Трещины в узлах сочленения хребтовой и шкворневой балок	2.2 Вмятины, прогибы стоек, рас- косов		
1.3 Трещины хребтовой балки в средней части	2.3 Трещины и изломы угловых стоек		
1.4 Трещины упорных угольников	2.4 Трещины и пробоины обшивки		
1.5 Вертикальный и горизонтальный прогиб хребтовой балки более 50 мм	2.5 Коррозионный износ обшивки		
1.6 Горизонтальный прогиб продольных балок более чем на 20 мм	2.6 Уширение, перекося кузова		
1.7 Коррозионный износ хребтовой балки более 30 %	2.7 Отсутствие или деформация дверей		
1.8 Трещины по сварке и основного металла шкворневой балки, вмятины листов	2.8 Деформация торцевой стены		
1.9 Коррозия шкворневой балки более 30 %	3 КРЫША		
1.10 Излом, изгиб и вмятины концевой бал- ки	3.1 Коррозионный износ листов крыши		
1.11 Обрыв заклёпки в местах сочленения хребтовой балки со шкворневой	3.2 Вмятины, пробоины, трещины листов крыши		
1.12 Трещины и вмятины в шкворневой балке	3.3 Прогиб, трещины излом дуг крыши		
1.13 Отклонение от плоскостности (пропел- лерность) рамы более 70 мм на 1 м ши- рины или более 200 мм на всю длину			

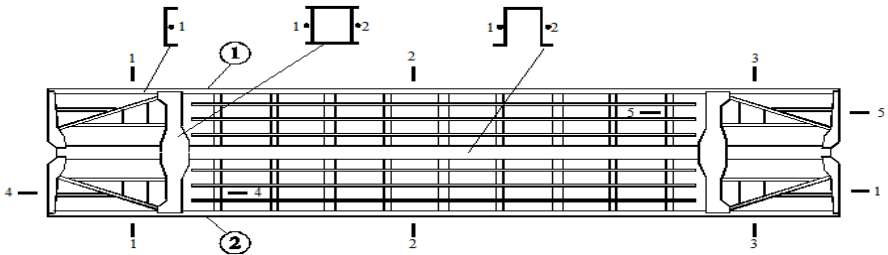
ПРИМЕЧАНИЯ

- 1 Неисправность подчеркнуть.
- 2 Указать количество дефектов.
- 3 Размеры дефекта фиксировать
на эскизах.
- 4 Наличие неисправности.
- 5 Устраненная неисправность.
- 6 Отсутствие неисправности.
- 7 СТБ 1133.

ИНСТРУМЕНТ:

- линейка измерительная ГОСТ 427;
- рулетка измерительная ГОСТ 7502;
- штангенциркуль по ГОСТ 166;
- лупа с 4-кратным увеличением

**Протокол измерения толщин элементов рамы
крытого вагона № _____**



Балка	Сечение	№ точки	Толщина, мм		
			номинальная	фактическая	предельная
1 Хребтовая	1	1	12,0		8,4
		2	12,0		8,4
	2	1	12,0		8,4
		2	12,0		8,4
	3	1	12,0		8,4
		2	12,0		8,4
2 Боковая	1	1	4,0		2,8
	3	1	4,0		2,8
	2	1	4,0		2,8
3 Боковая	1	1	4,0		2,8
	3	1	4,0		2,8
	2	1	4,0		2,8
4 Шкворневая	4	1	6,0		4,2
		2	6,0		4,2
	5	1	6,0		4,2
		2	6,0		4,2

- 1 Ультразвуковой толщиномер _____, заводской № _____ на частоте _____ МГц.
 2 Свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.
 3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.
 4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны колга.
 5 ГОСТ 12503-75, ГОСТ 23479-79.
 6 Инструкция МУ 09150.16.002-2000.
 7 Температура окружающей среды: _____ °С.

Диагностику произвёл:

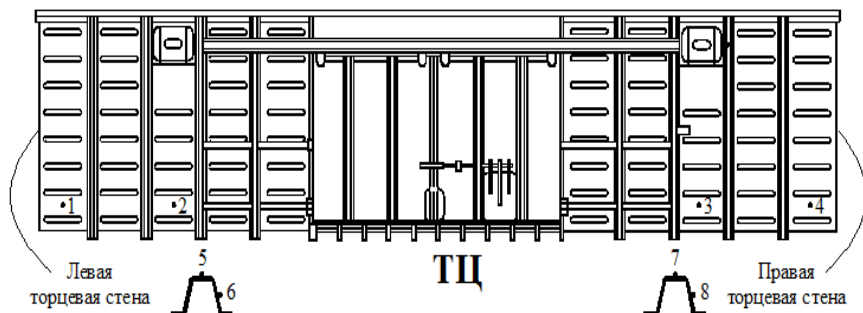
_____ (Ф. И. О.) (подпись)

_____ (Ф. И. О.) (подпись)

Технический руководитель:

_____ (Ф. И. О.) (подпись)

**Протокол измерения толщин элементов боковой стены
крытого вагона № _____**



№ точки	Толщина, мм		
	номинальная	фактическая	предельная
1	3,0		2,1
2	3,0		2,1
3	3,0		2,1
4	3,0		2,1
5	6,0		4,2
6	6,0		4,2
7	6,0		4,2
8	6,0		4,2

1 Ультразвуковой толщиномер _____, заводской № _____ на частоте _____ МГц.

2 Свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.

3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.

4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны котла

5 ГОСТ 12503–75, ГОСТ 23479–79.

6 Инструкция МУ 09150.16.002–2000.

7 Температура окружающей среды: _____ °С.

Диагностику произвёл:

(Ф. И. О.)

(подпись)

(Ф. И. О.)

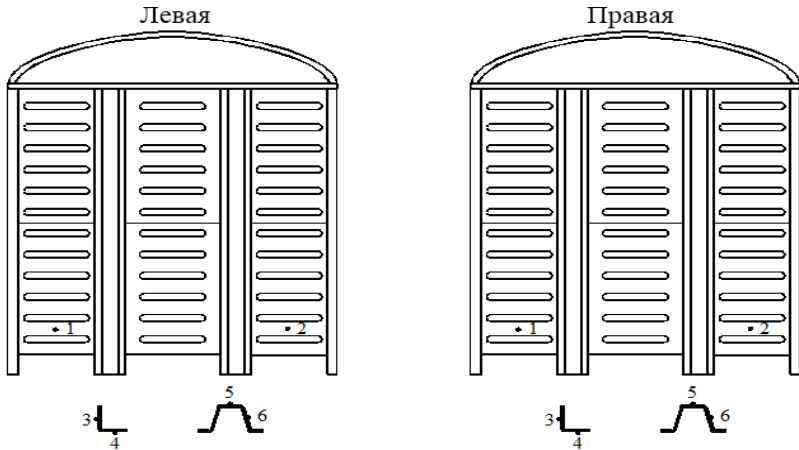
(подпись)

Технический руководитель:

(Ф. И. О.)

(подпись)

**Протокол измерения толщин элементов торцовых стен
крытого вагона № _____**



№ точки	Левая стена, толщина, мм			Правая стена, толщина, мм		
	номинальная	фактическая	предельная	номинальная	фактическая	предельная
1	3		2,1	3		2,1
2	3		2,1	3		2,1
3	6		4,2	6		4,2
4	6		4,2	6		4,2
5	6		4,2	6		4,2
6	6		4,2	6		4,2

1 Ультразвуковой толщиномер _____, заводской № _____, на частоте _____ МГц.

2 Свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.

3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью 0,1 мм.

4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны котла

5 ГОСТ 12503–75, ГОСТ 23479–79.

6 Инструкция МУ 09150.16.002–2000.

7 Температура окружающей среды: _____ °С.

Диагностику произвёл:

_____ (Ф. И. О.)

_____ (подпись)

_____ (Ф. И. О.)

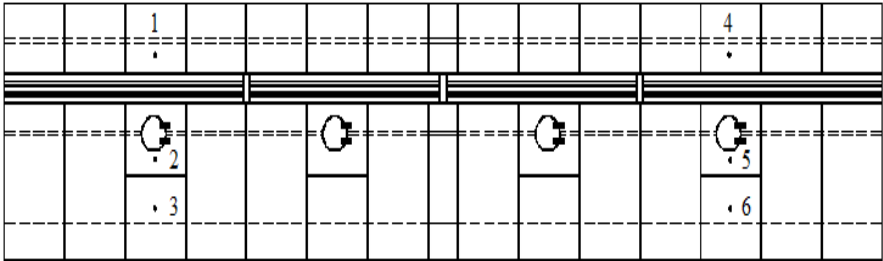
_____ (подпись)

Технический руководитель:

_____ (Ф. И. О.)

_____ (подпись)

**Протокол измерения толщин элементов крыши
крытого вагона № _____**



№ точки	Толщина, мм		
	номинальная	фактическая	предельная
1	1,5		1,1
2	1,5		1,1
3	1,5		1,1
4	1,5		1,1
5	1,5		1,1
6	1,5		1,1

1 Ультразвуковой толщиномер _____, заводской № _____, на частоте _____ МГц.

2 Свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.

3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.

4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны котла
5 ГОСТ 12503–75, ГОСТ 23479–79.

6 Инструкция МУ 09150.16.002–2000.

7 Температура окружающей среды: °С.

Диагностику произвёл:

_____ (Ф. И. О.) (подпись)

_____ (Ф. И. О.) (подпись)

Технический руководитель:

_____ (Ф. И. О.) (подпись)

А.3 Карта обследования технического состояния платформы

Мо- дель	Дата постройки	Место постройки	Дата и место КР	Дата и место ДР	Перевози- мый груз	Приме- чание
Место обследования		Дата обследования		Собственник		

ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОСНОВНЫХ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВАГОНОВ-ПЛАТФОРМ

<i>1 Рама</i>	
1.1 Трещины хребтовой балки в зоне упоров	1.8 Трещины по сварке и основного металла шкворневой балки, вмятины листов
1.2 Трещины в узлах сочленения хребтовой и шкворневой балок	1.9 Коррозия шкворневой балки более 30 %
1.3 Трещины хребтовой балки в средней части	1.10 Излом, изгиб и вмятины концевой балки
1.4 Выпучивание верхнего листа хребтовой балки в районе хвостовика автосцепки	1.11 Излом и повреждения боковых и промежуточных балок
1.5 Вертикальный прогиб хребтовой или боковых балок более чем на 200 мм	1.12 Коррозионный износ боковых балок более 30 %
1.6 Горизонтальный прогиб хребтовой или боковых балок более чем на 100 мм	1.13 Отклонение от плоскостности (пропеллерность) рамы платформы более 70 мм на 1 м длины или более 200 мм на всю длину рамы
1.7 Коррозионный износ хребтовой балки более 30 %	1.14 Обрыв заклёпок упорных угольников

ПРИМЕЧАНИЯ

- 1 Неисправность подчеркнуть.
- 2 Указать количество дефектов.
- 3 Размеры дефекта фиксировать на эскизах.
- 4 Наличие неисправности.
- 5 Устраненная неисправность.
- 6 Отсутствие неисправности.
- 7 Инструкция МУ 09150.16.004-2002
- 8 СТБ 1133.

ИНСТРУМЕНТ:

- линейка измерительная не менее 300 мм по ГОСТ 427;
- рулетка измерительная по ГОСТ 7502;
- штангенциркуль по ГОСТ 166;
- лупа с 4-кратным увеличением

Диагностику произвёл:

(Ф. И. О.)

(подпись)

(Ф. И. О.)

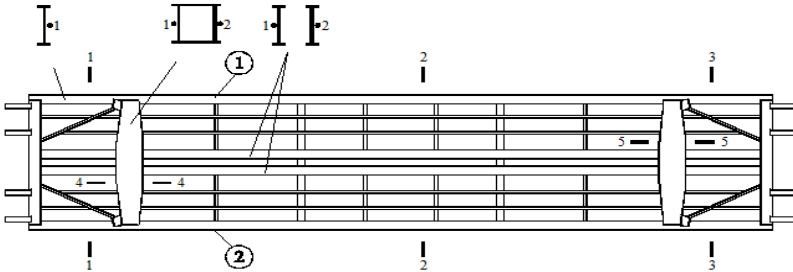
(подпись)

Технический руководитель:

(Ф. И. О.)

(подпись)

**Протокол измерения толщин элементов рамы
вагона-платформы № _____**



Балка	Сечение	№ точки	Толщина, мм		
			номинальная	фактическая	предельная
1 Хребтовая	1	1	11,1		7,8
		2	11,1		7,8
	2	1	11,1		7,8
		2	11,1		7,8
	3	1	11,1		7,8
		2	11,1		7,8
2 Боковая	1	1	11,1 (9,0)		7,8 (6,3)
	3	1	11,1 (9,0)		7,8 (6,3)
	2	1	11,1 (9,0)		7,8 (6,3)
3 Боковая	1	1	11,1 (9,0)		7,8 (6,3)
	3	1	11,1 (9,0)		7,8 (6,3)
	2	1	11,1 (9,0)		7,8 (6,3)
4 Шкворневая	4	1	8,0		5,6
		2	8,0		5,6
	5	1	8,0		5,6
		2	8,0		5,6

- 1 Ультразвуковой толщиномер _____, заводской № _____, на частоте _____ МГц.
 2 Свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.
 3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.
 4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны котла.
 5 ГОСТ 12503–75, ГОСТ 23479–79.
 6 Инструкция МУ 09150.16.002–2000.
 7 Температура окружающей среды: _____ °С.

Диагностику произвёл:

_____ (Ф. И. О.)

_____ (подпись)

_____ (Ф. И. О.)

_____ (подпись)

Технический руководитель:

_____ (Ф. И. О.)

_____ (подпись)

А.4 Карта обследования технического состояния полувагона

Мо- дель	Дата постройки	Место постройки	Дата и место КР	Дата и место ДР	Перевозимый груз	Приме- чание
Место обследования		Дата обследования		Собственник		

ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЛУВАГОНА

1 РАМА КУЗОВА	2 КУЗОВ
1.6 Трещины хребтовой балки в зоне упоров	2.1 Трещины, изгиб и изломы верхней обвязки
1.7 Трещины, сквозная коррозия в узлах сочленения хребтовой и шкворневой балок	2.2 Трещины, изгиб и изломы нижней обвязки
1.8 Трещины, сквозная коррозия хребтовой балки в средней части	2.3 Трещины, изгиб и изломы промежуточных стоек
1.9 Износ или трещина ударной розетки	2.4 Трещины и изломы угловых стоек
1.10 Вертикальный прогиб хребтовой балки более 50 мм и горизонтальный прогиб хребтовой балки более 20 мм	2.5 Обрыв связи шкворневых и промежуточных стоек
	2.6 Трещины, пробоины и вмятины обшивки
1.11 Вертикальный и горизонтальный прогиб поперечных балок более 20 мм	2.7 Коррозионный износ обшивки более 30 %
	2.8 Уширение кузова
1.12 Коррозионный износ хребтовой балки более 30 %	2.9 Отсутствие или деформация торцевых дверей
	2.10 Деформация торцевой стены
1.13 Трещины по сварке и основного металла шкворневой балки, вмятины листов	2.11 Пропеллерность кузова
1.14 Коррозия шкворневой балки более 30 %	
1.15 Излом, изгиб и вмятины концевой балки	
1.16 Трещины и износы в скользунах рамы	
1.17 Отклонение от плоскостности (пропеллерность) рамы полувагона более 70 мм на 1 м ширины или более 200 мм на всю ширину рамы	

ПРИМЕЧАНИЯ

- 1 Неисправность подчеркнуть.
- 2 Указать количество дефектов.
- 3 Размеры дефекта фиксировать на эскизах.
- 4 Наличие неисправности.
- 5 Устраненная неисправность.
- 6 Отсутствие неисправности.
- 7 Инструкция МУ 09150.16.004-2002
- 8 СТБ 1133.

Диагностику произвёл:

ИНСТРУМЕНТ:

- линейка измерительная не менее 300 мм по ГОСТ 427;
- рулетка измерительная по ГОСТ 7502;
- штангенциркуль по ГОСТ 166;
- лупа с 4-кратным увеличением

(Ф. И. О.)

(подпись)

(Ф. И. О.)

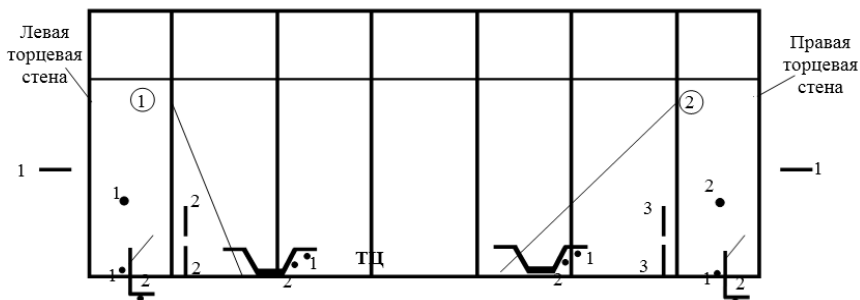
(подпись)

Технический руководитель:

(Ф. И. О.)

(подпись)

**Протокол измерения толщин элементов
боковой стены кузова полувагона № _____**



Наименование элемента	Сечение	Толщина в точках, мм					
		номинальная		фактическая		предельная	
		1	2	1	2	1	2
Обшивка		5	5			3,5	3,5
Нижняя обвязка (вагоны постройки до 1986)	2	9	9			6,3	6,3
	3	9	9			6,3	6,3
Нижняя обвязка (вагоны постройки после 1986)	2	10	10			7,0	7,0
	3	10	10			7,0	7,0
Стойка (1)	1	9	9			6,3	6,3
Стойка (2)	1	9	9			6,3	6,3

- 1 Ультразвуковой толщиномер ____, заводской № _____, на частоте _____ МГц.
 2 Свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.
 3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.
 4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны когла.
 5 ГОСТ 12503-75, ГОСТ 23479-79.
 6 Инструкция МУ 09150.16.002-2000.
 7 Температура окружающей среды: _____ °С.

Диагностику произвёл:

(Ф. И. О.)

(подпись)

(Ф. И. О.)

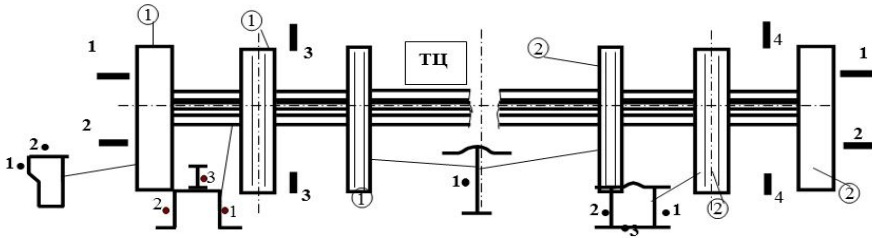
(подпись)

Технический руководитель:

(Ф. И. О.)

(подпись)

**Протокол измерения толщин элементов
рамы полувагона № _____**



Балка	Сечение	Толщина в точках, мм								
		номинальная			фактическая			предельная		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 Хребтовая	3	9	9	9				6,3	6,3	6,3
	4	9	9	9				6,3	6,3	6,3
2 Шкворневая	1	8	8	12				5,6	5,6	8,4
	2	8	8	12				5,6	5,6	8,4
3 Шкворневая	1	8	8	12				5,6	5,6	8,4
	2	8	8	12				5,6	5,6	8,4
4 Концевая	1	8	8	—			-	5,6	5,6	—
	2	8	8	—			-	5,6	5,6	—
5 Концевая	1	8	8	—			-	5,6	5,6	—
	2	8	8	—			-	5,6	5,6	—
6 Поперечная	1	7	—	—			-	4,9	—	—
	2	7	—	—			-	4,9	—	—
7 Поперечная	1	7	—	—			-	4,9	—	—
	2	7	—	—			-	4,9	—	—

Примечание – Толщины элементов поперечных балок измеряют у наиболее корродированных поперечных балок.

1 Ультразвуковой толщиномер _____, заводской № _____, на частоте _____ МГц.

2 Свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.

3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.

4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны котла

5 ГОСТ 12503–75, ГОСТ 23479–79.

6 Инструкция МУ 09150.16.002–2000.

7 Температура окружающей среды: _____ °С.

Диагностику произвёл:

(Ф. И. О.)

(подпись)

(Ф. И. О.)

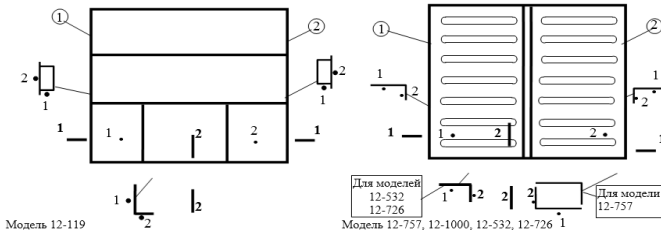
(подпись)

Технический руководитель:

(Ф. И. О.)

(подпись)

**Протокол измерения толщин элементов
левой торцевой стены полувагона № _____**



Наименование элемента		Сечение	Толщина в точках, мм					
			номинальная		фактическая		предельная	
			1	2	1	2	1	2
Обшивка			5	5			3,5	3,5
Нижняя обвязка	модель 12-726, 12-532, 12-1000	2	6	6			4,2	4,2
	модель 12-119		9	9			6,3	6,3
	модель 12-757		7	7			4,9	4,9
Стойка (1)	модель 12-726, 12-532, 12-1000	1	6	6			4,2	4,2
	модель 12-119	1	7,8	8			5,5	5,6
	модель 12-757	1	7	7			4,9	4,9
Стойка (2)	модель 12-726, 12-532, 12-1000	1	6	6			4,2	4,2
	модель 12-119	1	7,8	8			5,5	5,6
	модель 12-757	1	7	7			4,9	4,9

- 1 Ультразвуковой толщиномер ____, заводской № ____, на частоте _____ МГц.
- 2 Свидетельство о Гос. поверке № _____, годен до _____ г.
- 3 Преобразователь: тип _____, № _____, с точностью $\pm 0,1$ мм.
- 4 В скобках указаны номера точек, расположенные с противоположной стороны котла.
- 5 ГОСТ 12503-75, ГОСТ 23479-79.
- 6 Инструкция МУ 09150.16.002-2000.
- 7 Температура окружающей среды: _____ °С.

Диагностику произвёл:

(Ф. И. О.)

(подпись)

(Ф. И. О.)

(подпись)

Технический руководитель:

(Ф. И. О.)

(подпись)

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	5
1.1 Краткий исторический обзор развития системы технического обслужива- ния и ремонта грузовых вагонов	5
1.2 Системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов за ру- бежом.....	10
1.3 Вагонный парк Республики Беларусь и задачи вагонного хозяйства.....	44
1.4 Эксплуатация и техническое обслуживание вагонов грузового парка же- лезных дорог.....	47
1.4.1 Характеристика и учет вагонного парка, отчетность о наличии, со- стоянии и использовании грузовых вагонов	47
1.4.2 Показатели использования вагонов грузового парка.....	64
1.5 Система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, клас- сификация подразделений технического обслуживания и ремонта.....	74
1.6 Управление надежностью, обслуживание грузовых вагонов на гарантийных участках, расчет протяженности участков.....	101
1.7 Расчет контингента работников пункта технического обслуживания вагонов... ..	118
1.8 Расчет основных параметров вагонных депо в условиях неопределенно- сти и риска, классификация вагонных депо как транспортных объектов	119
1.9 Методика расчета пропускной способности депо на основе вероятностно- го подхода, определение расчетного значения фронта работ вагоноско- бочного участка в условиях неопределенности и риска.....	125
1.10 Методика расчета потребного оборудования, площадей участков и озе- ленения на основе вероятных моделей, расчетного количества основных производственных работников депо.....	133
1.11 Расчет технико-экономических показателей депо и методологии форми- рования генерального плана.....	143
2 ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	154
2.1 Организация ремонта грузовых вагонов в депо.....	154
2.2 Вагоносборочный участок	189
2.3 Ремонтные участки грузового депо	211
2.3.1 Тележечный участок	211
2.3.2 Участок по ремонту колесных пар.....	234
2.3.3 Участок по ремонту букс	301
2.3.4 Вагоносборочный участок	311
2.3.5 Участок по ремонту полувагонов и платформ.....	321
2.3.6 Ремонтно-комплектовочный участок.....	337

2.3.7	Деревообрабатывающее отделение.....	343
2.3.8	Участок ремонта тормозного оборудования.....	346
2.3.9	Расположение зданий, сооружений и технологического оборудования вагонного депо.....	353
2.4	Рациональные варианты развития грузового вагонного депо.....	363
2.4.1	Требования, предъявляемые к реконструируемому депо, и определение их основных параметров.....	364
2.4.2	Влияние методов ремонта вагонов на реконструкцию депо и его основные параметры.....	369
2.4.3	Методика выбора рациональных вариантов реконструкции и технического перевооружения вагонных депо.....	370
3	ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ В ПЛАНИРОВАНИИ ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА	373
3.1	Транспортная задача линейного программирования по рациональной загрузке депо объектами ремонта.....	374
3.1.1	Обеспечение грузовых вагонных депо объектами ремонта.....	374
3.1.2	Постановка задачи.....	376
3.1.3	Последовательность выполнения расчетов.....	376
3.1.4	Математическая формулировка задачи.....	377
3.1.5	Типы транспортных задач и формы их решения.....	377
3.1.6	Методы решения транспортной задачи.....	382
3.1.7	Способы составления начального плана прикрепления пунктов возможного отбора вагонов в ремонт.....	382
3.1.8	Оптимизация плана.....	385
3.1.9	Пример решения задачи прикрепления пунктов отбора вагонов в ремонт к депо.....	389
3.2	Динамическое программирование при решении задач развития депо.....	401
3.2.1	Критерий оптимальности развития деповской вагоноремонтной базы.....	402
3.2.2	Анализ основных факторов критерия.....	405
3.2.3	Рациональное обеспечение депо объектами ремонта.....	413
3.2.4	Зависимость изменения капитальных вложений от величины программы ремонта.....	415
3.2.5	Методика расчета оптимального развития деповской вагоноремонтной базы на полигоне железных дорог.....	419
3.3	Вероятностные модели в расчетах основных параметров вагонных депо.....	437
3.3.1	Современное состояние и направление развития теории и практики расчета основных технико-экономических показателей депо.....	437
3.4	Методика прогнозирования потребной мощности вагоноремонтной базы.....	440
3.4.1	Роль теории прогнозирования в повышении эффективности функционирования железнодорожного транспорта.....	440
3.4.2	Основы научного прогнозирования и требования к прогнозирующей системе при расчете потребной мощности базы деповского ремонта грузовых вагонов.....	442
3.4.3	Методика оценки "веса" информации при разработке долгосрочных прогнозов.....	447

3.4.4	Корреляционные функции и авторегрессионные модели в прогнозировании.....	449
3.4.5	Прогнозирование методами корреляционного анализа.....	451
3.4.6	Прогнозирование методами множественной регрессии.....	455
3.4.7	Метод экспоненциального сглаживания в прогнозировании мощности базы.....	468
3.4.8	Метод гармонического анализа при прогнозировании мощности базы.....	472
4	ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ.....	476
4.1	Неразрушающий контроль в вагонном хозяйстве.....	476
4.1.1	Магнитный контроль.....	477
4.1.2	Вихретоковый контроль.....	486
4.1.3	Акустический контроль.....	489
4.1.4	Капиллярный контроль.....	493
4.2	Техническое диагностирование кузовов и рам вагонов.....	495
4.2.1	Неисправности кузовов (котлов) и рам вагонов в процессе эксплуатации.....	496
4.2.2	Методика технического диагностирования вагонов-цистерн с целью продления срока их службы.....	497
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	507
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. КАРТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВАГОНОВ.....	510

Учебное издание

СЕНЬКО *Вениамин Иванович*
ГУРСКИЙ *Евгений Петрович*
ЧЕРНИН *Игорь Леонидович* и др.

ГРУЗОВЫЕ ВАГОНЫ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Учебное пособие

Редактор *И. И. Эвентов*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Компьютерная верстка – *А. В. Рычков, Ю. В. Ненахов,*
П. В. Бирило, А. В. Еврасов, Д. В. Вербенец, С. В. Ужанкова

Подписано в печать 23.11.2018 г. Формат бумаги 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 30,92. Уч.-изд. л. 32,32. Тираж 120 экз.
Зак. № 3985. Изд. № 85.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель.