

625.08
58
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра транспортно-технологических машин и оборудования

В. А. ДОВГЯЛО, Д. И. БОЧКАРЕВ

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Часть 2

МАШИНЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВА И РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Утверждено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов и курсантов
учреждений высшего образования по специальностям
«Автомобильные дороги», «Техническая эксплуатация
погрузочно-разгрузочных, путевых, дорожно-строительных
машин и оборудования» и по направлению специальности
«Управление подразделениями транспортных войск
(техническая эксплуатация машин и оборудования)»



Гомель 2022

4X 5617
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
БИБЛИОТЕКА БЕЛГУТА
УЧЕБНЫЙ ФОНД

УДК 625.08(075.8)
ББК 39.311-06-5
Д58

Рецензенты: кафедра транспортных и технологических машин Белорусско-Российского университета (зав. кафедрой – канд. техн. наук, доцент *И. В. Лесковец*);
зав. кафедрой тракторов Белорусского национального технического университета д-р техн. наук, профессор *В. П. Бойков*

Довгяло, В. А.

Д58 Дорожно-строительные машины. В 2 ч. Ч. 2. Машины для устройства и ремонта дорожных покрытий : учеб. / В. А. Довгяло, Д. И. Бочкарев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 478 с.
ISBN 978-985-554-974-2 (ч. 2)

Во второй части учебника приведены сведения о дорожной одежде автомобильных дорог Беларуси. Рассмотрены машины для традиционных технологических процессов строительства и ремонта дорожной одежды на основе асфальтобетонных смесей и битумных эмульсий, цементобетонных смесей, а также для реализации новых технологий устройства и ремонта дорожных покрытий.

Представлена информация о машинах и оборудовании для содержания автомобильных и городских дорог. Рассмотрены особенности технологических процессов летнего и зимнего содержания дорог, а также машины для их реализации.

Для каждой группы машин приведены их технические характеристики, конструкции, рабочие органы, приводы, узлы и агрегаты, а также методики расчета основных параметров.

Предназначен для студентов специальностей «Автомобильные дороги» и «Техническая эксплуатация погрузочно-разгрузочных, путевых, дорожно-строительных машин и оборудования» дневной и заочной форм обучения, для курсантов направления специальности «Управление подразделениями транспортных войск (техническая эксплуатация машин и оборудования)», а также может быть полезен магистрантам и слушателям курсов повышения квалификации.

УДК 625.08(075.8)
ББК 39.311-06-5

ISBN 978-985-554-974-2 (ч. 2)
ISBN 978-985-554-963-6

© Довгяло В. А., Бочкарев Д. И., 2022
© Оформление. БелГУТ, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
1 Общие сведения о дорожных покрытиях автомобильных дорог.....	7
1.1 Из истории строительства дорог.....	7
1.2 Классификация автомобильных дорог. Дороги Беларуси.....	12
1.3 Основные конструкции дорожных одежд.....	14
Контрольные вопросы.....	18
2 Базовые транспортные средства технологических машин.....	19
2.1 Тракторы.....	19
2.2 Пневмоколесные тягачи и самоходные шасси.....	24
2.3 Специальные самоходные шасси.....	28
2.4 Автомобильные шасси.....	36
Контрольные вопросы.....	38
3 Машины и оборудование для производства асфальтобетонных смесей.....	39
3.1 Классификация и свойства асфальтобетонов. Технология производства асфальтобетонных смесей.....	39
3.2 Стационарные асфальтосмесительные установки.....	45
3.3 Передвижные асфальтосмесительные установки.....	57
3.4 Машины для транспортирования битумных материалов.....	74
Контрольные вопросы.....	78
4 Оборудование для производства битумных эмульсий.....	79
4.1 Классификация битумных эмульсий.....	79
4.2 Технологический процесс и оборудование для получения битумных эмульсий.....	81
Контрольные вопросы.....	91
5 Машины для устройства асфальтобетонных покрытий.....	92
5.1 Особенности технологических процессов.....	96
5.2 Асфальтоукладчики.....	127
5.3 Дорожные катки.....	138
Контрольные вопросы.....	139
6 Машины и оборудование для производства цементобетонных смесей.....	139
6.1 Классификация и свойства цементобетонов.....	139
6.2 Оборудование для приготовления цементобетонных смесей.....	141
6.3 Бетонные заводы и бетоносмесительные установки.....	154
6.4 Автобетоносмесители.....	157
Контрольные вопросы.....	159
7 Машины для устройства цементобетонных покрытий.....	160
7.1 Особенности технологических процессов.....	160
7.2 Укладчики цементобетонных смесей и сопутствующие машины.....	163
Контрольные вопросы.....	182

8 Машины для устройства облегченных и переходных дорожных покрытий	183
8.1 Технологические процессы устройства облегченных и переходных покрытий	183
8.2 Грунтосмесители и рециклеры	186
Контрольные вопросы	209
9 Машины и оборудование для ремонта дорожных покрытий	210
9.1 Особенности технологических процессов ремонта	210
9.2 Оборудование для текущего ремонта асфальтобетонных покрытий	211
9.3 Машины для среднего ремонта асфальтобетонных покрытий	245
9.3.1 Машины для технологии раздельного распределения материалов	246
9.3.2 Машины для технологии синхронного распределения материалов	254
9.4 Машины для капитального ремонта асфальтобетонных покрытий	268
9.5 Машины и оборудование для ремонта цементобетонных покрытий	291
Контрольные вопросы	309
10 Машины и оборудование для летнего содержания автомобильных и городских дорог	311
10.1 Особенности технологических процессов	311
10.2 Поливомоечные машины	312
10.3 Подметально-уборочные машины	323
10.4 Техника для ухода за зелеными насаждениями	347
10.4.1 Оборудование для формирования газонов	348
10.4.2 Косилки	350
10.4.3 Оборудование для посадки кустарников и деревьев	360
10.4.4 Оборудование для пересадки деревьев	364
10.4.5 Машины для переработки древесных отходов	366
10.5 Оборудование для устройства и укрепления обочин	371
10.6 Машины для разметки дорог и улиц	375
Контрольные вопросы	392
11 Машины для зимнего содержания автомобильных и городских дорог	393
11.1 Особенности технологических процессов	393
11.2 Плужные снегоочистители	396
11.3 Роторные снегоочистители	409
11.4 Малогабаритные снегоуборочные машины	425
11.5 Снегопогрузочные машины	430
11.6 Скалыватели льда и уплотненного снега	441
11.7 Распределители противогололедных материалов	449
Контрольные вопросы	461
12 Ресурсосбережение при создании и эксплуатации дорожно-строительных машин	462
Контрольные вопросы	476
Список литературы	477

ПРЕДИСЛОВИЕ

Совершенствование инфраструктуры отечественных автомобильных дорог связано не только со строительством новых дорог, но и с реконструкцией, ремонтом и восстановлением существующих. Для решения этих задач используют технологии, базирующиеся на комплексной механизации основных и вспомогательных работ по строительству и ремонту дорог, которые выполняют дорожно-строительные машины и оборудование. Наиболее высокую эффективность работ, сочетающую заданный темп, необходимое качество и минимальную стоимость, обеспечивают комплекты и комплексы, которые представляют собой совокупности взаимосвязанных машин. Если комплект машин занят на отдельной самостоятельной технологической операции, то комплексом машин можно выполнить весь технологический процесс строительства, реконструкции или ремонта дороги.

Материал учебника позволяет получить сведения о дорожно-строительных машинах, комплектах и комплексах на их основе, которые эксплуатируются в республике. В их числе информация о технических и эксплуатационных характеристиках, особенностях конструкции и расчетов основных параметров машин.

В первой части учебника («Машины для земляных работ», 2021) были рассмотрены землеройные и землеройно-транспортные машины, машины для подготовительных работ и для уплотнения грунта, которые используют в Беларуси при подготовке земляного полотна для последующего строительства автомобильных дорог.

Во второй части учебника приведены основные сведения по классификации, устройству, приводам, ходовым системам и рабочему оборудованию машин для устройства, ремонта и содержания автомобильных дорог с асфальто- и цементобетонными покрытиями. Основное внимание уделено дорогам с асфальтобетонными покрытиями, составляющими более 95 % от общей протяженности автомобильных дорог Беларуси с твердым покрытием. Однако имеются перспективы развития и устройства дорог с цементобетонным покрытием.

В учебнике рассмотрены машины для традиционных технологических процессов устройства дорожной одежды на основе асфальто- и цементобетонных смесей, а также машины для реализации относительно новых технологий устройства дорожных покрытий. В их числе машины для строи-

тельства облегченных и переходных дорожных покрытий с использованием битумных эмульсий, а также машины и оборудование для текущего, среднего и капитального ремонта асфальтобетонных покрытий. Значительное внимание уделено машинам и комплексам на их основе для восстановления покрытий методами горячего и холодного рециклинга. Рассмотрены машины и оборудование для летнего и зимнего содержания автомобильных дорог, включая сведения об их технических характеристиках и технологических возможностях, а также о методиках расчета основных параметров.

Как правило, дорожно-строительные организации имеют машины отечественного и импортного производства, обладающие различным уровнем автоматизации и роботизации, что затрудняет подбор состава машин для выполнения ответственных операций дорожного строительства. Кроме того, следует учитывать различия их технических, эксплуатационных и технологических возможностей. Решению этой проблемы способствует достаточно подробное описание методов и технических средств автоматизации управления, контроля и регулирования агрегатами и системами дорожно-строительных машин, которое представлено в первой части учебника.

Ресурсосбережение в сочетании с экологической безопасностью является решающим фактором выбора технологии дорожного строительства и машин для ее реализации не только в нашей стране, но и за рубежом. В учебнике показаны наиболее значимые, на наш взгляд, ресурсосберегающие направления развития дорожно-строительной техники.

Авторы надеются, что учебник поможет студентам, магистрантам и слушателям курсов повышения квалификации получить достаточно полную информацию о технических характеристиках и технологических возможностях дорожно-строительных машин и оборудования, чтобы оптимально их использовать в условиях комплексной механизации дорожных работ с учетом необходимости ресурсосбережения при строительстве, ремонте и реконструкции автомобильных дорог.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Во все времена: и в период Великого княжества Литовского, и в составе Речи Посполитой, Российской империи и СССР, и в суверенной истории Беларуси – наши дороги имели и имеют стратегическое значение. С одной стороны, они являются национальным достоянием и способствуют развитию экономики страны, с другой – это часть транснациональной транспортной инфраструктуры, обеспечивающей межгосударственное взаимодействие. О значимости автомобильных дорог свидетельствует следующая цифра: вклад автомобильного транспорта в общий объем перевезенных по Беларуси грузов составляет более 75 %.

1.1 Из истории строительства дорог

В Беларуси уже в период существования Великого княжества Литовского (ВКЛ) имелось несколько транспортных коммуникаций, связывающих его города в различных направлениях. К ним относятся дороги Полоцк – Витебск – Смоленск, Полоцк – Браслав – Вильно, Варшава – Гродно – Вильно, Гродно – Несвиж – Слуцк, Брест – Орша, Брест – Луцк и др.

Значение транспортной системы страны было отражено в основных государственных документах того времени – Статутах ВКЛ 1523, 1566 и 1588 гг.

В Статуте ВКЛ 1588 г. была закреплена законодательная база, которая регламентировала габариты дорог и правила проезда по ним, дорожные повинности, связанные с содержанием и ремонтом дорог, и многое другое. В дорожные повинности входили работы по содержанию и ремонту дорог, к которым относились подсыпка грунта в низких местах и прокладывание водоотводящих канав, озеленение прилегающих территорий. В ряде городов (Гродно и др.) строили многопролетные мостовые сооружения из деревянных конструкций, отдельные участки дорог и улиц мостили камнем (бруком). Следует отметить, что техника каменного мощения (брукование) дожила до XX века.

В Западной Европе первые попытки повышения качества проезжих дорог были описаны в трактате Т. Проктера «Полезные для всего королевства важные работы по ремонту всех дорог...», опубликованном в 1607 г. в Лондоне.

В те времена почти каждое последующее поколение дорожников меняло технологию строительства дорог в связи с накоплением опыта, а также из-за повышения требований к дорогам. Если в начале XVII века считали наиболее эффективным естественное уплотнение дорог в течение нескольких месяцев, то к концу столетия стали повсеместно использовать искусственное уплотнение трамбованием.

К концу XVIII века при прокладке трассы на местности начали применять некоторые геодезические инструменты, такие как нивелиры и уклономеры, а при строительстве дорог пытались учитывать свойства грунтов.

В этот период времени начали строить мостовые из булыжного камня, которые по конструкции почти не отличались от современных дорог. Для обеспечения их долговечности устанавливали требования к дорожной одежде и земляному полотну, например, к форме и размерам колотого булыжного камня, к распределению крупных и мелких камней по ширине дороги, а также к конфигурации корыта в земляном полотне.

Следующим этапом развития технологии дорожного строительства являлся переход к дорожным одеждам из щебня, к так называемому «щебеночному шоссе», которое обычно связывают с именем шотландского дорожника Дж. Мак-Адама. В начале XIX века (1806 г.) он разработал собственную систему постройки щебеночных дорог и их ремонта. В ней были сформулированы и обоснованы основные требования к дорожной одежде. Во-первых, грунт рассматривался как основание дороги, воспринимающее нагрузку от движения и обеспечивающее прочность, с учетом этого предварительное осушение грунта и отказ от отрывания корыта в земляном полотне способствовали сохранению прочности дорожной одежды. Во-вторых, дорожная одежда должна быть прочной и водонепроницаемой, для чего применяли одномерный чистый щебень или гравий. «Размер камней, используемых для дороги, должен быть пропорционален месту, занимаемому колесом обычных размеров на гладкой ровной поверхности. Каждая щебенка, уложенная в дорогу, которая в каком-либо измерении превысит эту величину, является вредной». И еще цитата из Дж. Мак-Адама: «Каждая дорога должна строиться из дробленого камня, без примеси земли, глины, мела или каких-либо других материалов, впитывающих воду и подверженных воздействию мороза. Не следует ничего добавлять к чистому щебню для придания связности».

На территории Российской империи началом дорожного строительства принято считать 1722 г., когда был издан сенатский указ о постройке грунтовой дороги, связывающей Петербург с Москвой. Долгое время дорожное строительство ограничивалось работами по осушению дорожной полосы и ее укреплению древесными материалами. Поэтому дороги были только грунтовыми и низкого качества, несмотря на их значительную протяженность и большие потребности в перевозках.

К концу XVIII столетия в Российской империи, как и в Европе, стали использовать щебеночные покрытия. С 1786 г. щебеночные покрытия проезжей части должны были иметь двухслойную конструкцию. Нижний слой покрытия состоял из мелкого, а верхний – из крупного (2–4 дюйма) щебня, который следовало уплотнять вручную и выравнивать железными или каменными катками.

В связи с недостаточным финансированием строительства дорог в нижний слой дорожной одежды укладывали крупный щебень слабых, но дешевых местных пород. Кроме того, начали применять гравий, а также искусственный кирпичный щебень, дробленую чугунную и болотную железную руду.

По этой же причине получили распространение булыжные мостовые, поскольку отпадала необходимость дробления камня на щебень, и их можно было надолго оставлять без ремонта.

Уплотнение щебеночных покрытий катками позволяло снизить пористость за счет применения в верхнем слое более мелкого материала (клинца и высевок), частицы которого катки вдавливали в незаполненные места между щебенками, создавая расклинивание.

Таким образом, существенным отличием конструкций дорожных одежд в Российской империи был отказ от обязательного условия Дж. Мак-Адама о создании дорожной одежды из однородного по составу, крупности и прочности щебня.

Дороги Беларуси в XVII–XVIII веках развивались по общеевропейским нормам. В XIX столетии Беларусь уже имела достаточно разветвленную сеть дорог, которая включала внутригубернские дороги, а также участки транзитных маршрутов трасс Варшава – Москва и Петербург – Киев. Структура дорожной одежды этих дорог (белое щебеночное покрытие, основание, поперечный профиль и др.) была выполнена по системе Дж. Мак-Адама. Все дороги были рассчитаны на передвижение гужевого транспорта. И только в XX столетии с развитием автомобильного транспорта дороги приобрели статус автомобильных дорог.

В XIX веке были предприняты попытки повысить связность щебеночных покрытий за счет вяжущих материалов. Технологию асфальтовых покрытий начали использовать только в 1829 г., хотя месторождения асфальтовых горных пород (известняков и песчаников, пропитанных битумом) были открыты в Швейцарии еще в 1721 г. Покрытия из трамбованного и укатанного асфальта начали применять на улицах больших городов. В Париже первые покрытия появились в 1854 г., в Лондоне – в 1869 г., в Берлине – в 1877 г., в США – в 1871 г. В Российской империи месторождения природных асфальтов были открыты и начали разрабатываться позднее, поэтому первые попытки устройства усовершенствованных покрытий связаны с каменноугольным дегтем, которым пропитывали щебеночные покрытия.

Развитие дорог с твердым покрытием поставило очередную неординарную задачу перед дорожниками – содержание и ремонт дорог. Одно из направлений было связано с поверхностной обработкой покрытий органическими вяжущими материалами. Впервые она была осуществлена в 1902 г. в Швейцарии энтузиастом дорожного строительства врачом Э. Гуглиминетти, который для обеспыливания щебеночного покрытия обрабатывал его разогретым каменноугольным дегтем. Первоначально розлив битума и дегтя осуществляли вручную из леек с последующим распределением по покрытию щетками. Затем появились котлы на ручных тележках, на конной тяге и, наконец, распределители жидкого вяжущего на автомобилях (автогудронаторы). В СССР их начали выпускать с 1934 г.

Следующим этапом стала разработка технологии, которая связывала щебень на всю толщину покрытия. Сначала задачу решали путем обработки каменного материала жидким вяжущим непосредственно на дороге. Так, для пропитки и поверхностной обработки щебеночных покрытий использовали горячий вязкий битум. Затем появилась технология обработки щебня вяжущим в заводских условиях с последующим хранением и транспортировкой приготовленных материалов.

Рост интенсивности движения и появление на дорогах тяжелых автотранспортных средств потребовали дальнейшего повышения прочности дорожных покрытий по сравнению со щебеночными покрытиями, обработанными вяжущими материалами. В дорожном строительстве начали применять асфальто- и цементобетоны.

Асфальтобетонные покрытия стали развитием щебеночных покрытий из материалов, обработанных вяжущими. Основным отличием асфальтобетона от щебня, обработанного вяжущим, явилось обязательное наличие в его составе тонкого минерального порошка дисперсностью менее 0,1 мм, который заполнял поры между песчаными частицами.

В дальнейшем в технологии дорожных покрытий начали применять разжиженные битумы, а также битумные и дегтевые эмульсии, которые в СССР были впервые испытаны в 30-х годах прошлого столетия. Битумные и дегтевые эмульсии, содержащие около 50 % воды, включали 2 % эмульгатора и диспергированный битум (или деготь). Такие составы позволяли выполнять дорожные работы при более низких температурах и с влажным щебнем, а также с гравийными материалами с большим содержанием пылеватых и песчаных частиц. В СССР их стали интенсивно применять для устройства дорог низших категорий с гравийными покрытиями методом смешения компонентов на дороге.

Перед Второй мировой войной начали строить дорожные одежды из цементобетона. Однако первые попытки оказались неудачными, поскольку бетонные плиты толщиной 18–24 см, соединенные металлическими штырями и уложенные на песчаное или гравийное основание, не могли

компенсировать неоднородность земляного полотна и довольно быстро разрушались.

До войны (в 1940 г.) Беларусь располагала 11200 км дорог с твердым покрытием, из них только 220 км имели асфальтобетонные покрытия. После войны только к 1951 году удалось выйти на довоенный уровень состояния дорог, после чего дорожная сеть стала интенсивно развиваться. Так, за период с 1976 по 1985 год прирост дорог с твердым покрытием составил протяженность дорог довоенного уровня.

В послевоенный период характерной стала устойчивая тенденция к снижению стоимости дорожного строительства. Одним из путей решения данной проблемы было применение в дорожных одеждах промышленных отходов – шлаков, горелых сланцев, отвалов каменноугольных шахт, дробленого камня и кирпича из разбираемых зданий, золы уноса и др.

Для укрепления щебеночных материалов и грунтов в нижних несущих слоях дорожных одежд начали использовать как неорганические вяжущие материалы (цемент и известь), так и обладающие вяжущими свойствами промышленные отходы (шлаки).

Большой толчок к качественным преобразованиям дорожной отрасли СССР дали Олимпийские игры 1980 года, проходившие в Москве. В частности, к Олимпиаде была построена автомагистраль Брест – Минск – Москва с использованием технологии скоростного строительства покрытий из цементобетона со скользящей опалубкой.

В дальнейшем интенсивное развитие получили технологии дорожного строительства с повторным употреблением материалов ремонтируемых покрытий, в частности, асфальтобетона. Имеются различные варианты повторного использования асфальтобетона – от полного удаления старых покрытий с их переработкой на заводах и последующей укладкой в покрытие до срезания верхнего слоя покрытия на неполную толщину, добавления к нему новых компонентов и укладки полученной смеси на ремонтируемый участок дорожного полотна.

Одновременно с развитием технологий дорожного строительства развивались машины для их реализации. Первые сведения о механизации дорожных работ связывают с появлением грейдера. Первый патент на конный четырехколесный автогрейдер был выдан в 1795 г. в США изобретателю Р. Фултону. В 70-х годах XIX столетия американцы создали несколько моделей конных грейдеров с деревянной рамой и рычажным управлением, а уже в 1880-х годах появились модели с реверсивным ножом и штурвальным управлением, а также с наклонной установкой колес и рессорной подвеской. К началу XX столетия грейдеры были переведены на тракторную тягу, а в 1924 г. в США был создан первый самоходный автогрейдер.

В царской России в начале XX столетия преобладали грейдеры на конной тяге. В СССР в годы первой пятилетки было выпущено более 3500 легких

и средних прицепных грейдеров, а в 1948 г. был выпущен первый советский трехосный самоходный автогрейдер.

Не менее богатую историю имеет уплотняющая техника. Ее рождение датируется 1829 г., когда во Франции впервые для укладки щебеночных покрытий применили трехтонный каток, изготовленный из дубовых брусьев, окованных железными обручами. Там же в 1859 г. появились паровые катки, которые озаменовали новый этап в развитии и обеспечении качества дорожной одежды.

1.2 Классификация автомобильных дорог. Дороги Беларуси

В суверенной Беларуси основным государственным документом, регламентирующим требования к дорогам, является Закон Республики Беларусь «Об автомобильных дорогах», который был принят в 1994 году.

Все наши дороги разделяют на автомобильные дороги общего пользования и ведомственные дороги. К автомобильным дорогам общего пользования относятся республиканские и местные дороги. Ведомственные дороги расположены на территории хозяйственных субъектов.

Республиканские дороги, включенные в сеть международных дорог, соединяют Минск с областными и районными центрами, а также эти центры между собой. Местные автодороги связывают райцентры между собой, а также с сельскими населенными пунктами.

Географическое расположение Беларуси – в центре Европы между странами Запада и Востока – обуславливает значительный вклад транзитной составляющей грузопотоков на наших коммуникациях, в том числе на автомобильных дорогах. Основными транзитными автомобильными маршрутами, которые имеют общеевропейское значение, являются следующие.

Во-первых, это дорога М-1/Е-30 Брест – Минск – граница России (на Москву), которая является участком Критского коридора II, связывающего страны Западной Европы, Беларусь и Россию.

Во-вторых, дорога М-8/Е-95 граница России (от С.-Петербурга) – Витебск – Гомель – граница Украины (на Киев), которая является участком Критского коридора IX и соединяет Скандинавские страны с Балканскими. Ответвление этого коридора (с индексом IXB) Гомель – Минск – граница Литвы (на Клайпеду и Калининград) включает автомобильные дороги М-5 Гомель – Минск, М-6 Минск – Гродно и М-7 Першай – Ошмяны – граница Литвы.

И наконец, дорога М-11, имеющая европейскую индексацию Е-85, проходит от границы Литвы (от Вильнюса) через Лиду – Слоним – Бытень до дороги М-1.

В нашей стране на протяжении многих лет действуют государственные программы по строительству, реконструкции и ремонту отечественных автомобильных дорог, в их числе ныне действующая программа «Дороги

Беларуси» на 2021–2025 годы. За пятилетний период, завершивший предыдущие работы по аналогичной программе, протяженность дорог общего пользования увеличилась с 83 тысяч до 86 тысяч км (87 % – с твердым покрытием). Как мы отмечали ранее [8], в количественном отношении наши дороги выглядят неплохо и по плотности дорог (в расчете на площадь территории), и по их протяженности (в расчете на количество населения). Однако в качественном отношении они оставляют желать лучшего и требуют реконструкции и модернизации, поскольку протяженность участков, отвечающих европейским стандартам по нагрузке на одиночную ось (11,5 т), по-прежнему мала. Программа 2021–2025 годов предусматривает уход от строительства новых дорог и упор на обширные работы по ремонту покрытий дорог, т. е. на повышение транспортно-эксплуатационных характеристик дорожной одежды. Основные мероприятия направлены на реконструкцию республиканских автомобильных дорог, являющихся участками трансъевропейских транспортных коридоров, а также международных маршрутов. В их числе ремонт почти 810 км республиканских дорог с повышением их несущей способности (до 11,5 т на ось), а также с увеличением скоростного режима на протяжении не менее 1,8 тыс. км.

В основе современной классификации отечественных автомобильных дорог лежит система, принятая в СССР и несколько измененная с учетом современных реалий. В нашей стране дороги в зависимости от значимости, назначения и интенсивности движения разделяют на пять категорий (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Категории белорусских автомобильных дорог

Расчетная интенсивность движения, тыс. ед./сут	Категория дороги					
	Ia	Iб	II	III	IV	V
В транспортных единицах	>7	>7	3–7	1–3	0,1–1,0	< 0,1
Приведенная к легковому транспорту	>14	>14	6–14	2–6	0,2–2,0	< 0,2

Наиболее важными (в таблице 1.1 – категория Ia) являются республиканские магистральные дороги (с индексом М), которые связывают Минск с административными центрами областей, с национальным аэропортом, а также кольцевая дорога вокруг Минска (МКАД).

Далее по значимости следуют республиканские (Р) дороги категории Iб и II, соединяющие административные центры областей и районов, райцентры между собой, а также местные дороги важного хозяйственного значения.

К категории III относятся дороги, которые не попали в две первые категории. Они связывают райцентры с городами районного подчинения, а также с железнодорожными станциями и республиканскими дорогами.

Затем следуют местные дороги (IV категории), не отнесенные к категории III.

И наконец, последняя V категория – автомобильные дороги местного значения.

Наибольшая нагрузка приходится на республиканские дороги: более 70 % внутренних грузовых перевозок и практически весь транзит приходится на эти дороги.

Российская классификация автомобильных дорог также сохранила основные критерии советской классификации.

1.3 Основные конструкции дорожных одежд

Автомобильная дорога представляет собой комплекс сооружений, предназначенных для безопасного круглогодичного движения транспортных средств с расчетными скоростями, габаритами и нагрузками. В состав дороги входят *земляное полотно* и *дорожная одежда*.

Земляное полотно является одним из основных конструктивных элементов дороги, от устойчивости и прочности которого зависит долговечность дорожной одежды.

Дорожная одежда представляет собой многослойную конструкцию, предназначенную для движения автотранспорта и передачи нагрузки от него на земляное полотно. Дорожная одежда содержит *три основных слоя*, отличающихся составом материалов: *покрытие*, *базовый слой основания* и *дополнительный (подстилающий) слой*. В свою очередь каждый из этих слоев может быть одно- или многослойным.

Дополнительный (подстилающий) слой основания – это нижний слой дорожной одежды, воспринимающий нагрузку и передающий ее на земляное полотно. Как правило, он выполняет также функции морозозащитного и дренажного (дренажного) слоя. Его устраивают из гравия, песка, гравийно-песчаных смесей, шлака или грунта, обработанного вяжущими веществами.

Базовый слой основания – это несущая часть дорожной одежды, обладающая заданной прочностью в соответствии с технической категорией дороги и состоящая, как правило, из нескольких слоев на основе частиц каменного материала или грунта, обработанного вяжущими веществами. Поскольку этот слой не подвергается непосредственному воздействию колес автотранспорта, для его устройства используют материалы, которые уступают по прочности материалу покрытия.

Покрытие – это верхний слой дорожной одежды с высоким сопротивлением износу, ударным нагрузкам и природным факторам. Он воспринимает нагрузки непосредственно от колес автотранспорта и обеспечивает заданные транспортно-эксплуатационные характеристики дороги, в том

числе ровность, высокий коэффициент сцепления с шинами и долговечность. В свою очередь покрытие может быть многослойным.

В большинстве случаев оно имеет два слоя:

– *основной (несущий) слой*;

– *слой износа* (т. е. самый верхний слой, с которым контактируют шины автотранспорта). Слой износа по мере истирания периодически восстанавливают.

Покрытия дорожной одежды автомобильных дорог разделяют на четыре основных типа, которые различаются капитальностью конструкции, интенсивностью движения автотранспорта и технико-экономическими характеристиками:

- 1) усовершенствованные капитальные;
- 2) усовершенствованные облегченные;
- 3) переходные;
- 4) низшие (простейшие).

К **усовершенствованным капитальным покрытиям** относят следующие покрытия: во-первых, цементобетонные – монолитные и сборные; во-вторых, асфальтобетонные, которые укладывают в горячем состоянии из асфальтобетона марок I и II; в-третьих, мостовые, брусчатые или мозаичные на цементобетонном основании. Их применяют на дорогах I–III категорий с интенсивным движением. Расчетный срок службы составляет 15 лет для нежестких и 30 лет для жестких дорожных одежд.

Строительство цементобетонных (ЦБ) покрытий производят на автомобильных дорогах I–III категорий с интенсивным движением. ЦБ покрытия могут быть одно- и двухслойными. Толщина верхнего слоя составляет не менее 6 см. В целом толщину покрытия выбирают с учетом интенсивности движения и материала основания в пределах 18–24 см.

Ведущее место на дорогах и улицах занимают асфальтобетонные (АБ) покрытия. Их устраивают на автомобильных дорогах I–IV категорий, аэродромах и городских улицах из горячих, теплых и холодных АБ смесей, которые готовят смешением исходных компонентов (щебня, песка, минерального порошка и дорожного битума) в заданных стандартом соотношениях.

Усовершенствованными облегченными покрытиями считают покрытия из горячего асфальтобетона марки III, теплых и холодных асфальтобетонных смесей, эмульсионных смесей, а также покрытия из щебеночных и гравийных материалов, обработанных вяжущими веществами по способам пропитки и смешения на месте. К облегченным покрытиям относят также слои износа, устроенные на покрытиях переходного типа в результате поверхностной обработки. Покрытие по способу пропитки получают путем распределения щебня фракции 20–40 мм с последующим розливом битума или битумной эмульсии и распределением мелкого черного щебня фракции

5–10 мм. Покрытие по способу пропитки получают смешением минерального материала (щебня, песчано-гравийной смеси и др.) с битумом или битумной эмульсией непосредственно на дороге. Расчетный срок службы усовершенствованных облегченных покрытий составляет 10 лет.

Покрытия переходного типа устраивают на дорогах IV и V категорий. К ним относят неукрепленные щебеночные и гравийные покрытия, а также покрытия из укрепленных вяжущими материалами (жидким битумом, битумной эмульсией, известью, цементом и др.) грунтов. В ряде случаев переходные покрытия используют в качестве оснований усовершенствованных покрытий. Их расчетный срок службы составляет 6 лет.

Покрытия низшего типа формируют из уплотненных грунтов или грунтов, укрепленных добавками гравия, шлака, извести и местных материалов.

Необходимость безотходного производства, экономия ресурсов и минимизация влияния на окружающую среду потребовали разработки новых технологий дорожного строительства и новых машин для их реализации. Современные методы реконструкции, восстановления и ремонта дорожной одежды позволяют существенно расширить гамму материалов, применяемых при создании дорожных покрытий, в том числе использовать вторичное сырье, т. е. регенерированные материалы дорожной одежды. В этом плане наиболее востребованными и энергосберегающими являются технологии дорожного строительства и ремонта АБ покрытий с повторным использованием старого асфальтобетона.

В последнее время для устройства *облегченных и переходных покрытий* используют холодные регенерированные АБ смеси на основе битумных эмульсий и других вяжущих, в том числе органических и неорганических, а также комплексных вяжущих на их основе. Их устраивают и ремонтируют по методу *холодного рециклинга (ресайклинга)*, который объединяет несколько операций: фрезерование, перемешивание, стабилизацию, уплотнение и профилирование восстанавливаемого участка дороги за один проход. Эти холодные смеси используют для устройства элементов дорожной одежды различных категорий дорог:

- 1) верхних слоев оснований на дорогах I–III категорий;
- 2) нижних слоев покрытий на дорогах III категории;
- 3) верхних слоев покрытий на дорогах IV, V категорий.

При реконструкции или ремонте АБ покрытий методом *горячего рециклинга* объем восстановительных работ зависит от характера повреждений покрытия.

Для устранения неровностей покрытий применяют метод *термопрофилирования (reform)* – это разогрев и срезание старого покрытия, перемешивание полученного гранулята в машине, его укладка, разравнивание и уплотнение на дороге.

Для усиления покрытия и создания нового слоя износа используют метод *термогомогенизации (repave)* – это разогрев и срезание старого покрытия, перемешивание полученного гранулята в машине, его укладка и разравнивание на дороге, укладка на него и уплотнение новой АБ смеси.

Для усиления покрытия и восстановления слоя износа применяют метод *термосмешения и укладки смеси с добавлением новых компонентов (remix)* – это разогрев старого покрытия, распределение горячего щебня и битума по поверхности старого покрытия, повторный разогрев и срезание покрытия с нанесенным слоем, перемешивание полученного гранулята в машине, его укладка и уплотнение на дороге.

Для восстановления покрытия с формированием нового слоя износа применяют *термоукладку с нанесением нового слоя износа (remix plus)* – это разогрев старого покрытия, укладка на него новой АБ смеси в качестве слоя износа и уплотнение.

Все перечисленные восстановительные работы по методу *горячего рециклинга* на дороге выполняют специализированные однопроходные машины (*ремиксеры*). Их основным достоинством является выполнение всех операций технологического процесса (за исключением окончательного уплотнения смеси), что обеспечивает значительное ресурсосбережение и высокий уровень экологической безопасности дорожных работ.

На наш взгляд, целесообразно разъяснить некоторые термины, которые используют в литературе по дорожной технике. Помимо русскоязычных «*восстановление*» и «*регенерация*» часто используют термины «*рециклинг*» и «*ресайклинг*», которые происходят от одного английского слова «*recycling*» (*to recycle* – переработать). В настоящее время *рециклингом (ресайклингом)* называют регенерацию, т. е. повторное использование старого материала дорожной одежды для ее восстановления. Имеются методы холодного и горячего *рециклинга*.

В свою очередь от *рециклинга* появились такие понятия, как *рециклированный и рециклируемый материалы*.

Рециклированным называют материал, который частично или полностью состоит из вторично использованного сырья.

Рециклируемым называют материал, который частично или полностью может быть использован в качестве вторсырья.

Для реализации современных технологий ремонта и восстановления дорожной одежды используют машины, которые частично или полностью обеспечивают операции технологического процесса. К ним относятся *рециклеры (ресайклеры)* и *ремиксеры*.

Рециклером (ресайклером) называют автоматизированную однопроходную машину для ремонта и восстановления АБ покрытий и оснований дорожной одежды методом *холодного рециклинга*. Она обеспечивает снятие старого покрытия, смешивание его частиц с новым вяжущим (водоцемент-

ной смесью, битумной эмульсией и др.), укладку и уплотнение на дорожном полотне.

Ремиксером (от англ. *remix* – повторно перемешивать) называют автоматизированную машину для ремонта и восстановления АБ покрытий методом *горячего рециклинга*. Она обеспечивает нагрев и снятие старого покрытия, смешивание его частиц с компонентами корректирующей смеси, укладку и уплотнение на дорожном полотне. Ремиксер представляет собой самоходную однопроходную машину, оснащенную дизельным двигателем и пневмоколесным шасси, газовым оборудованием для нагрева покрытия, гидравлической системой управления рабочими органами и другими агрегатами, а также комплектом рабочего оборудования.

Контрольные вопросы

- 1 Классифицируйте автомобильные дороги Беларуси.
- 2 Назовите и прокомментируйте основные элементы дорожной одежды.
- 3 Что представляют собой усовершенствованные капитальные и облегченные, переходные и низшие покрытия?
- 4 Что такое методы «горячего» и «холодного» рециклинга?
- 5 Что такое рециклированный и рециклируемый материалы?
- 6 Что такое рециклер и ремиксер?

2 БАЗОВЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

К базовым транспортным средствам, которые обеспечивают перемещение и привод рабочих органов дорожно-строительных машин, относят пневмоколесные и гусеничные тракторы, колесные тягачи, а также самоходные и автомобильные шасси.

Транспортные средства целесообразно классифицировать по следующим признакам:

- по способу перемещения рабочего оборудования – несущие и тяговые;
- по типу движителя – колесные и гусеничные;
- по размещению рабочего оборудования – на колесном и гусеничном тракторах, автомобильном или специальном шасси, на прицепе и полуприцепе;
- по типу ходовой трансмиссии – с механической, гидромеханической и электромеханической;
- по типу привода рабочего оборудования – от силовой установки транспортного средства и от автономного двигателя.

Несущие технические средства (пневмоколесные и гусеничные тракторы, колесные тягачи, грузовые автомобили и специальные шасси) обеспечивают передвижение и привод рабочих органов дорожных и строительных машин.

Тяговыми средствами являются любые из перечисленных технических средств, оснащенные прицепным или полуприцепным рабочим оборудованием для дорожных или других работ и выполняющие транспортные операции.

2.1 Тракторы

Тракторы используют как базовые и тяговые энергетические средства навесного, полуприцепного и прицепного оборудования дорожных и строительных машин. Их разделяют по следующим основным признакам:

- по типу движителя – колесные и гусеничные;
- по тяговому классу – легкие (1,4-й и 4-й классы; мощностью 55–70 кВт), средние (5-й и 6-й; 96–156 кВт), тяжелые (25-й и 35-й; 243–342 кВт) и сверхтяжелые (50-й, 75-й и 100-й классы; 610–880 кВт) машины;
- по типу трансмиссии – с механической, гидромеханической и электромеханической;
- по типу рамы – безрамной и монорамной конструкции, с шарнирно-сочлененной рамой;

- по компоновке двигателя – с передним и задним расположением;
- по виду управления поворотом машины – с передними и задними управляемыми колесами, изломом шарнирно-сочлененной рамы и с бортовым поворотом.

Тяговые характеристики тракторов устанавливают с учетом их ходовой системы и рабочих скоростей: 3,0–3,5 км/ч – с пневмоколесной, 2,5–3,0 км/ч – с гусеничной. Напомним, что тяговый класс – это главный параметр трактора, который характеризует максимальное усилие на его крюке в тс.

Пневмоколесные тракторы могут иметь задние или передние ведущие колеса, а также могут быть полноприводными. У наиболее распространенных тракторов с задними ведущими колесами нагрузка на заднюю ось составляет 60–70 % силы тяжести машины, а сила тяги достигает 50–80 % нагрузки на заднюю ось. Мощность машин с одной ведущей осью, как правило, не превышает 110–130 кВт. У полноприводных тракторов, имеющих колеса одинакового размера, нагрузки на оси распределяются более равномерно, что обеспечивает большие значения тягового усилия по сцеплению и увеличенную проходимость. Мощность таких тракторов обычно превышает 130 кВт.

В Беларуси, а также на территории всего постсоветского пространства ПО «Минский тракторный завод» не имеет конкурентов по выпуску пневмоколесных тракторов. Завод выпускает широкий модельный ряд тракторов и машин на их основе. В их числе более 60 моделей различных машин для земляных, дорожных, коммунальных, сельскохозяйственных и других работ. Базовые модели тракторов объединение производит более чем в ста вариантах, мощность силовых установок варьируется в интервале от 10 до 260 кВт.

Производитель классифицирует свой современный модельный ряд универсально-пропашных колесных тракторов (с их нынешним наименованием) по следующим сериям:

- «БЕЛАРУС-300» – малогабаритные тракторы моделей 320, 310, 321 с небольшим тяговым усилием и мощностью 25–27 кВт;
- «БЕЛАРУС-500» – модели 510, 512, 522, 572, 622 с мощностью 42–46 кВт;
- «БЕЛАРУС-800» – модели 821, 820, 826, 892 с мощностью 60 кВт;
- «БЕЛАРУС-900» – модели с мощностью 57–61 кВт (920, 921, 922, 923, 924, 952);
- «БЕЛАРУС-1000» – модели, обладающие мощностью 73,5 кВт и повышенной надежностью элементов (1021, 1025);
- «БЕЛАРУС-1200» – модели с мощностью 88 кВт и усовершенствованной системой управления (1221, 1222);
- «БЕЛАРУС-1500» – модели с мощностью 110 кВт и усовершенствованной системой управления (1523.3, 1523.4);

– «БЕЛАРУС-2000» – модели с мощностью 156 кВт (2022.4-10/91, 2022.4-10/99, 2022.5);

– «БЕЛАРУС-3000» – модель с мощностью 223 кВт (3022);

– «БЕЛАРУС-3500» – модель с мощностью 261 кВт (3522).

Отметим, что смена наименования упомянутой техники с «МТЗ» на «БЕЛАРУС» произошла довольно давно, тем не менее до сих пор используют оба названия. В таблице 2.1 представлены некоторые модели отечественных колесных тракторов под маркой «МТЗ».

На базе тракторов «МТЗ» заводы, входящие в состав ПО «Минский тракторный завод», выпускают более 15 моделей машин различного назначения. В их числе фронтальные погрузчики «БЕЛАРУС МП-320» и «БЕЛАРУС П10М», уборочно-погрузочные машины «БЕЛАРУС МПУ-320» и «БЕЛАРУС МУП-351», экскаватор-погрузчик «БЕЛАРУС ЭП-491», а также уборочные машины «БЕЛАРУС 82МК» и «БЕЛАРУС МУ-320» и др.

Гусеничные тракторы могут иметь привод на задние или передние колеса (звездочки). В зависимости от назначения силовую установку располагают спереди или сзади.

Для приближенной оценки параметров тракторов можно воспользоваться корреляционными зависимостями. Так, мощность силовой установки, кВт, связана с массой, кг, следующей зависимостью:

– для колесного трактора

$$N = (0,0597 \pm 0,01)m_T^{0,85}, \quad (2.1)$$

– для гусеничного трактора

$$N = (0,019 \pm 0,0025)m_T^{0,95}. \quad (2.2)$$

Таблица 2.1 – Технические характеристики колесных тракторов

Параметр	МТЗ-80.1	МТЗ-82.1	МТЗ-92П	МТЗ-1221	МТЗ-1523	МТЗ-2022	МТЗ-2822
<i>m</i> , кг	3240/3700	3445/3900	3750/3900	4640/5300	5700/6000	6675/7220	9430/10800
<i>N</i> , кВт	57,4	57,4	65,0	96,0	110,0	154,5	206
<i>J</i> , г/кВт·ч	220	220	226	226	220	227	227
<i>v</i> , км/ч	1,9–33,4	1,9–33,4	2,2–15,5	2,1–33,8	1,7–32,3	1,8–39,7	2,2–37,8
Колесная формула	4×2	4×4	4×4	4×4	4×4	4×4	4×4
<i>R</i> _{пов.} , м	3,8	4,1	4,5	5,3	5,5	5,8	5,5
Габариты, мм:							
длина	3815	3930	3850	4950	4750	5230	5860
ширина	1970	1970	1970	2250	2250	2530	2830
высота	2785	2785	2850	2850	3000	3120	3150

Примечание – *m* – масса: в числителе – конструктивная, в знаменателе – эксплуатационная; *N* – мощность силовой установки; *J* – удельный расход топлива при номинальной мощности; *v* – диапазон скоростей движения вперед; *R*_{пов.} – радиус поворота.

По данным работы [15], предельная масса составляет: для колесного трактора – $(1,0-6,4) \cdot 10^3$ кг, для гусеничного – $(5-75) \cdot 10^3$ кг.

Пневмоколесные малогабаритные тракторы (с двумя и одной осью) также используют при строительстве и содержании дорог. Компоновка двухосных тракторов в большинстве моделей повторяет компоновку полноразмерных машин. В зависимости от массы их разделяют на три типа:

- легкие (массой до 500 кг и мощностью до 10 кВт);
- средние (500–1000 кг и 10–20 кВт);
- тяжелые (более 1000 кг и более 20 кВт).

В Беларуси малогабаритные колесные тракторы (под маркой МТЗ) выпускает РУП «Бобруйский завод тракторных деталей и агрегатов». В таблице 2.2 представлены основные модели этих тракторов, которые используют в различных областях, в том числе в дорожном строительстве и при содержании дорог. Их относят к тяговому классу 0,2–0,6.

Таблица 2.2 – Технические характеристики малогабаритных колесных тракторов

Параметр	МТЗ-132Н	МТЗ-320	МТЗ-321	МТЗ-310	МТЗ-310Р	МТЗ-320Р	МТЗ-422	МТЗ-622
<i>m</i> , кг	457/ 532	1650/ 1720	1380/ 1450	1560/ 1630	1590/ 1630	1590/ 1730	2000/ 2180	2200/ 2410
<i>N</i> , кВт	9,6	26,5	26,5	26,5	26,5	33,5	36,6	46,0
<i>G</i> , кг	457*	1100	–	1100	750	750	–	–
<i>J</i> , г/кВт·ч	313	358	358	280	358	358	329	329
<i>v</i> , км/ч	2,8–17,7	1,0– 25,0	1,0– 25,2	1,0– 25,0	1,0– 25,0	1,0– 25,0	1,0– 31,7	1,2– 36,6
Колесная формула	4×4	4×4	4×4	4×2	4×2	4×4	4×4	4×4
Габариты, мм								
длина	2500	3400	3100	3100	3100	3100	3115	3450
ширина	1000	1550	1300	1550	1560	1560	1570	1700
высота	2000	2150	2170	2150	2300	2300	2245	2380

* Масса прицепа.

Примечание – *m* – масса: в числителе – конструктивная, в знаменателе – эксплуатационная; *N* – мощность силовой установки; *G* – грузоподъемность; *J* – удельный расход топлива при номинальной мощности; *v* – диапазон скоростей движения вперед.

Одноосные тракторы (мотоблоки) имеют три схемы расположения двигателя. В первом варианте двигатель устанавливают консольно, коленчатый вал располагают соосно ведущему валу трансмиссии и перпендикулярно оси ведущих колес. Двигатель выносят вперед или назад относительно оси колес. Во втором варианте двигатель устанавливают на специальном кронштейне и связывают с трансмиссией клиноременной передачей, выполняющей функции муфты сцепления. В третьем варианте двигателя представляет собой легкоъемный модуль, который соединяют с другими модулями – тяговым и рабочим. Коленчатый вал располагают вертикально. Максимальная рабочая скорость одноосных тракторов не превышает 6 км/ч.

Одноосные тракторы (мотоблоки) также разделяют на три вида:

- легкие (массой до 700 кг и мощностью до 3 кВт);
- средние (70–100 кг и 3–5 кВт);
- тяжелые (более 100 кг и более 5 кВт).

На рисунке 2.1 представлена компоновка гусеничных и колесных тракторов.

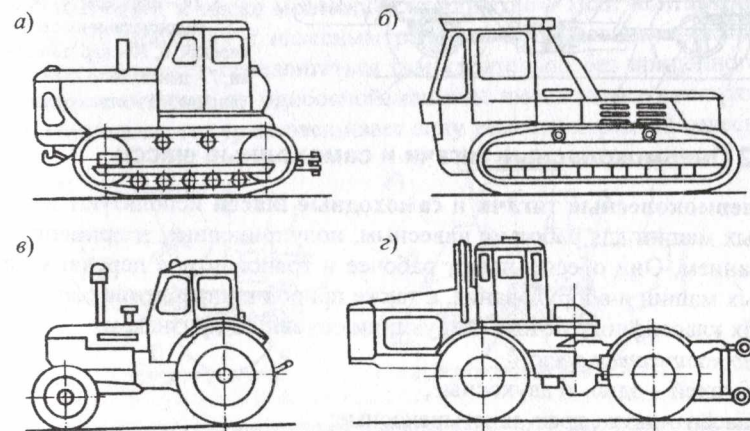


Рисунок 2.1 – Компоновка тракторов: гусеничных с передним (а) и задним (б) расположением двигателя; пневмоколесных с цельной (в) и шарнирно-сочлененной (г) рамами

Механические трансмиссии до сих пор применяют в приводах ходового оборудования ряда моделей колесных и гусеничных тракторов.

На базовых тракторах мощностью до 130 кВт чаще всего применяют ступенчатые зубчатые трансмиссии. Их конструкция наиболее отработана, они относительно просты и удобны в эксплуатации. Вместе с тем ступенчатое регулирование крутящих моментов приводит к малоэффективному использованию мощности двигателя.

Механический привод хода используют в основном в тракторах как тяговых транспортных средствах. Если же на трактор навешивают рабочее оборудование, то применяют, как правило, гидромеханические трансмиссии. На рисунке 2.2 представлена компоновочная схема колесного трактора с гидромеханической коробкой передач 5 (гидротрансформатор – механическая коробка передач) и бульдозерным рабочим оборудованием 11–13. Трактор имеет заднее расположение двигателя 7 на полураме 8, где также размещают коробку передач 5, задний ведущий мост 9 и кабину 4. Крутящий момент от двигателя через коробку передач 5 на ведущие мосты 1 и 9 передают карданными передачами 6 и 10.

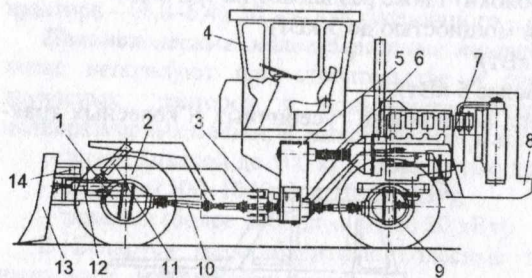


Рисунок 2.2 – Компоновочная схема колесного трактора с гидромеханической трансмиссией:

1, 9 – ведущие мосты; 2, 8 – передняя и задняя полурамы;
3, 14 – шарниры; 4 – кабина;
5 – гидромеханическая коробка передач; 6, 10 – карданные передачи; 7 – двигатель; 11, 12 – гидроцилиндры; 13 – отвал бульдозерный

2.2 Пневмоколесные тягачи и самоходные шасси

Пневмоколесные тягачи и самоходные шасси используют в качестве базовых машин для работы с навесным, полуприцепным и прицепным оборудованием. Они обеспечивают рабочее и транспортное передвижение дорожных машин и оборудования, а также привод и управление рабочих органов. Их классифицируют по следующим основным признакам:

- по количеству осей:
тягачей – одно- и двухосные,
шасси – двух-, трех- и четырехосные;
- по типу привода – передне-, задне- и полноприводные;
- по типу трансмиссии – с механической, гидромеханической и электромеханической;
- по типу рамы – с жесткой и шарнирно-сочлененной;
- по способу управления поворотом машины – передними и задними управляемыми колесами, изломом шарнирно-сочлененной рамы и бортовым поворотом;
- по размещению силовой установки – с передним и задним расположением.

Пневмоколесные одно- и двухосные тягачи как энергетические средства используют в качестве базовых машин для работы с различными видами рабочего оборудования. Мощность их силовых установок изменяется в широких пределах – от 15 до 900 кВт. Они обладают широким диапазоном рабочих и транспортных скоростей (до 50–80 км/ч). Машины оснащают в основном гидромеханическими ходовыми трансмиссиями с гидрообъемным и гидродинамическим компонентами, реже – механическими трансмиссиями. В конструкциях ряда моделей тяжелых тягачей (мощностью более 400 кВт) применяют гидро- и электромеханические трансмиссии с мотор-колесами.

На рисунке 2.3 представлены компоновочные схемы одно- и двухосного тягачей.

Одноосный тягач (см. рисунок 2.3, а) состоит из двигателя, трансмиссии, системы управления и двух ведущих колес. Он не может самостоятельно передвигаться без полуприцепного рабочего оборудования, а в агрегате с

полуприцепом представляет собой самоходную машину с передней ведущей осью. Важным элементом тягача является опорно-сцепное устройство 2, которое обеспечивает агрегатирование тягача с прицепным оборудованием, а пара гидроцилиндров 3 – поворот тягача относительно прицепа.

Двухосный тягач (см. рисунок 2.3, б) имеет силовую установку, трансмиссию, систему управления, один или два ведущих моста и шарнирно-сочлененную раму, а также монтажное устройство 9 (или монтажную плиту) для агрегатирования с навесным рабочим оборудованием различного назначения. Он может передвигаться самостоятельно без прицепного оборудования и в отличие от одноосной машины имеет заднее расположение силовой установки, что уравнивает силу тяжести передней навески.

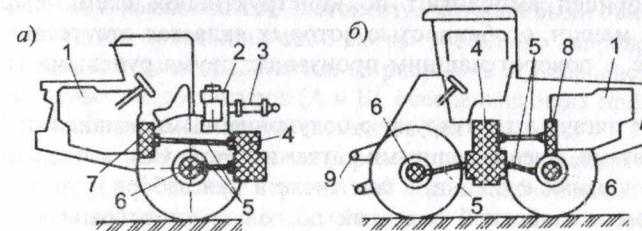


Рисунок 2.3 – Компоновочные схемы привода одно- (а) и двухосного (б) тягачей:
1 – двигатель; 2 – опорно-сцепное устройство; 3 – гидроцилиндр поворота; 4 – коробка передач; 5 – карданный вал; 6 – ведущее колесо; 7 – раздаточный редуктор; 8 – сцепление; 9 – устройство для размещения навесного оборудования

На рисунке 2.4 представлены конструктивная и кинематическая схемы одноосного тягача.

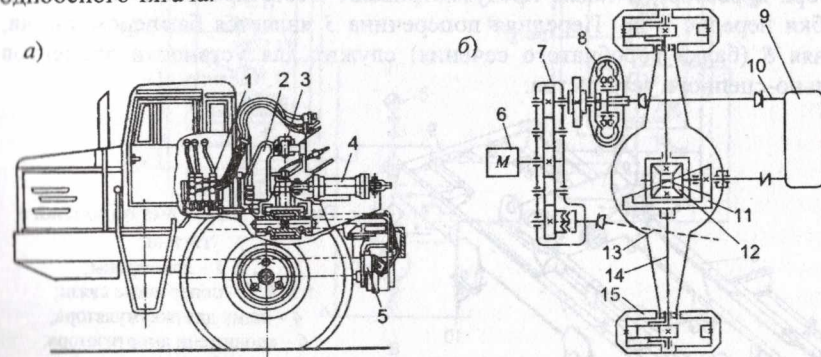


Рисунок 2.4 – Одноосный тягач (а) и его кинематическая схема (б):
1 – блок системы управления; 2 – стойка; 3 – вертикальный шкворень; 4 – гидроцилиндр; 5 – гидронасос; 6 – двигатель; 7 – раздаточная коробка; 8 – гидротрансформатор; 9 – коробка перемены передач; 10, 13 – карданные валы; 11 – главная передача; 12 – дифференциал; 14 – полуось; 15 – планетарный редуктор

Привод хода имеет следующую структуру: крутящий момент от дизельного двигателя 6 через раздаточную коробку 7, сцепление, гидротрансформатор 8, карданный вал 10 и коробку передач 9 передается на главную передачу 11, а затем через дифференциал 12 и полуоси 14 на ступичные планетарные редукторы 15. От раздаточной коробки 7 через карданный вал 13 приводят гидронасосы системы управления агрегатами тягача и рабочим оборудованием. Опорно-сцепное (или седельно-сцепное) устройство служит для передачи тягового усилия от тягача и поворота прицепа. Кроме того, благодаря наличию сочленяющего шарнира оно обеспечивает поворот тягача относительно прицепа в вертикальной (на 12°) и горизонтальной (на 90°) плоскостях.

Тягач и прицеп выполняют по конструктивной схеме шарнирно-сочлененных машин, особенностью которых является отсутствие управляемых колес, а поворот машины производят двумя рулевыми гидроцилиндрами 4.

Одноосные тягачи агрегируют с полуприцепными машинами (скреперами, землевозами, пневмошинными катками и др.). Они выполняют в основном транспортные функции, в том числе и при наборе грунта самоходным скрепером со свободной загрузкой, поскольку эту операцию осуществляют в подавляющем большинстве случаев с использованием толкача. Одноосные тягачи имеют унифицированное ходовое устройство, содержащее раму, подвеску и колеса. На рисунке 2.5 показана рама одноосного тягача МоАЗ-6442, которая является сварной конструкцией, состоящей из трех продольных лонжеронов 1, 2 и 5 и трех поперечных связей 3, 8 и 9. На лонжеронах устанавливают кронштейны 6, 10 и 11 элементов подвески (амортизатора и рессор), а также предусматривают места крепления двигателя, коробки передач и др. Передняя поперечина 3 является бампером тягача, средняя 8 (балка коробчатого сечения) служит для установки элементов седельно-сцепного устройства.

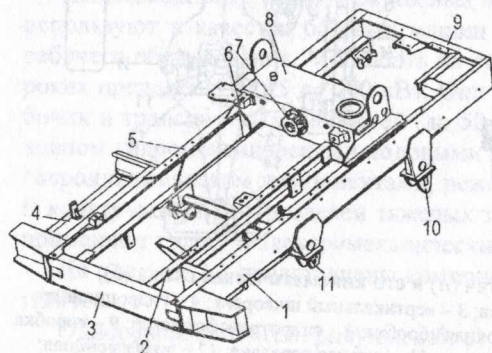


Рисунок 2.5 – Рама одноосного тягача;
1, 2, 5 – лонжероны;
3, 8, 9 – поперечные связи;
4 – ящик для аккумулятора;
6 – кронштейн амортизатора;
7 – ось; 10, 11 – кронштейны рессор

Двухосные тягачи имеют трансмиссию, схожую с трансмиссией одноосных тягачей, но с учетом наличия двух ведущих мостов. В частности, коробку передач с гидротрансформатором унифицируют с одноосным тягачом, но при этом она является также раздаточной коробкой и имеет устройство для отключения одного из мостов.

Двухосные тягачи агрегируют с бульдозерным и фронтальным погрузочным оборудованием, с плужными снегоочистителями и самоходными пневмошинными катками. Агрегирование обуславливает унификацию несущих металлоконструкций с установкой необходимых монтажных элементов для соответствующего адаптера.

Ряд моделей двухосных тягачей имеет гидромеханическую трансмиссию с гидрообъемным компонентом, достоинства которой были отмечены ранее. Один из вариантов принципиальной схемы объемного гидропривода двухосного колесного тягача представлен на рисунке 2.6. Гидросистема состоит из двух основных гидроконтуров (А и Б), обеспечивающих привод ведущих мостов тягача. В числе основных элементов бак 1, насосы 6 и 7, гидромоторы 8 и 9, а также регулирующая и управляющая гидроаппаратура. Регулируемые насосы 6 и 7 создают переменный поток рабочей жидкости, которая поступает к гидромоторам 8 и 9, изменение величины потока жидкости обеспечивает регулирование скорости передвижения тягача. Нерегулируемый насос 2 системы подпитки используют для восполнения потерь жидкости в основных контурах гидросистемы машины.

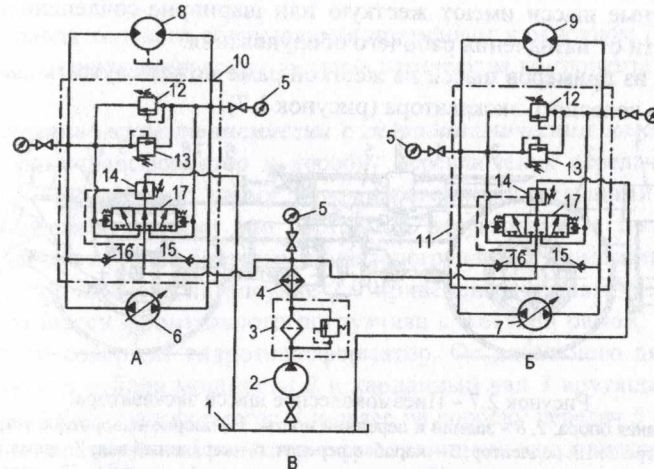


Рисунок 2.6 – Гидросхема колесного тягача:

А – гидроконтур переднего моста; Б – гидроконтур заднего моста; В – гидроконтур подпитки;
1 – бак; 2 – насос подпитки; 3 – фильтр с переливным клапаном; 4 – теплообменник;
5 – манометры; 6, 7 – регулируемые насосы; 8, 9 – гидромоторы; 10, 11 – клапанные коробки;
12–14 – предохранительные клапаны; 15, 16 – обратные клапаны;
17 – гидрораспределители с сервоклапанами

2.3 Специальные самоходные шасси

Специальные самоходные шасси используют в качестве несущего (базового) транспортного средства многих дорожно-строительных машин, обеспечивая их перемещение, привод и размещение рабочего оборудования для земляных, укладочных, ремонтно-восстановительных и других работ. На них устанавливают экскаваторы, погрузчики и автогрейдеры, асфальтоукладчики и катки, рециклеры и ремиксеры, машины для зимнего и летнего содержания дорог. Они имеют наиболее рациональную компоновку основных агрегатов и узлов, поскольку их конструируют специально для работы с определенным рабочим оборудованием. В отличие от тягачей почти вся мощность их силовой установки идет на привод рабочего оборудования и его управление.

Размеры базы шасси зависят от назначения машины. Короткую базу используют в машинах, для которых важным параметром является их маневренность, например, в погрузчиках. Для машин, обеспечивающих профилирование или равномерное распределение материала по длине (автогрейдеров, грунтосмесителей, асфальтоукладчиков и других укладочных машин), используют удлиненную базу, снижающую влияние неровностей поверхности на качество профилирования поверхности или распределения дорожно-строительного материала.

Двухосные шасси имеют жесткую или шарнирно-сочлененную раму в зависимости от назначения рабочего оборудования.

Одним из примеров шасси на жесткой раме может служить шасси одноковшового колесного экскаватора (рисунок 2.7).

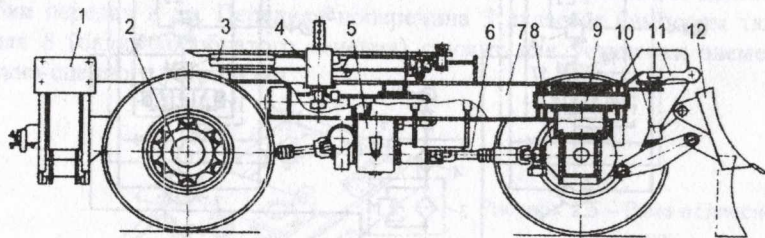


Рисунок 2.7 – Пневмоколесное шасси экскаватора:

1 – откидная опора; 2, 8 – задний и передний мосты; 3 – опорно-поворотное устройство; 4 – центральный коллектор; 5 – коробка передач; 6 – карданный вал; 7 – рама; 9 – ось балансирной подвески; 10 – гидроцилиндр отвала; 11 – водило; 12 – отвал

На раме цельнометаллической конструкции 7 устанавливают опорно-поворотное устройство 3, отвал 12 и балку откидных опор 1, а также другие узлы и агрегаты машины. Откидные опоры 1 и отвал 12 обеспечивают устойчивость экскаватора при копании.

Типичный пример шарнирно-сочлененной рамы представлен на рисунке 2.8. Переднюю 3 и заднюю 7 полурамы соединяют вертикальным шарниром 4, который обеспечивает их поворот друг относительно друга на угол $\pm 40^\circ$. Переднюю полураму устанавливают на переднем мосту 1 неподвижно, а заднюю – на заднем мосту 6 на балансирной подвеске, которая обеспечивает качание задней полурамы в вертикальной плоскости на угол $\pm 12^\circ$.

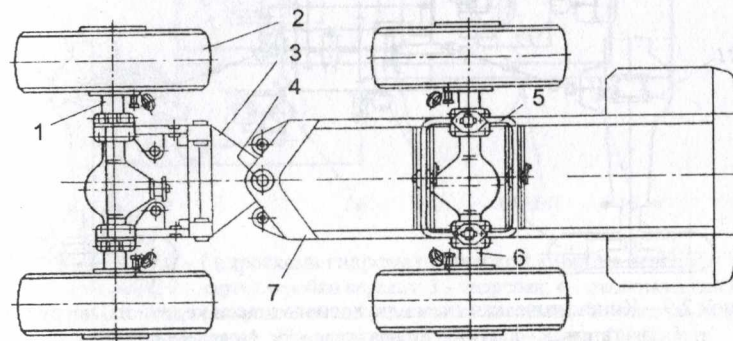


Рисунок 2.8 – Двухосное шасси с шарнирно-сочлененной рамой:

1, 6 – передний и задний ведущие мосты; 2 – колесо; 3, 7 – передняя и задняя полурамы; 4 – вертикальный шарнир; 5 – балансирная подвеска

Для привода ходового оборудования применяют в основном гидромеханические (с гидродинамическим и гидростатическим компонентами) трансмиссии.

Гидромеханические трансмиссии с гидродинамическим компонентом содержат гидротрансформатор и коробку переключения передач под нагрузкой. Ее комплектуют двумя унифицированными ведущими мостами, дифференциалами, осевыми или бортовыми редукторами, а также многодисковыми (осевыми или бортовыми) маслопогружными тормозами.

В качестве примера на рисунке 2.9 приведена кинематическая схема двухосного шасси фронтального погрузчика с жесткой рамой, трансмиссия которого содержит гидротрансформатор. От дизельного двигателя 1 через редуктор отбора мощности 2 и карданный вал 3 крутящий момент передают на гидротрансформатор 4 и далее на коробку передач 5 (многоступенчатый цилиндрический редуктор с фрикционными многодисковыми муфтами переключения передач). От коробки передач крутящий момент передают двумя карданными валами 6 на передний 7 и задний 11 ведущие мосты. На ступицах мостов устанавливают колеса 10, которые получают вращение от планетарных редукторов 8.

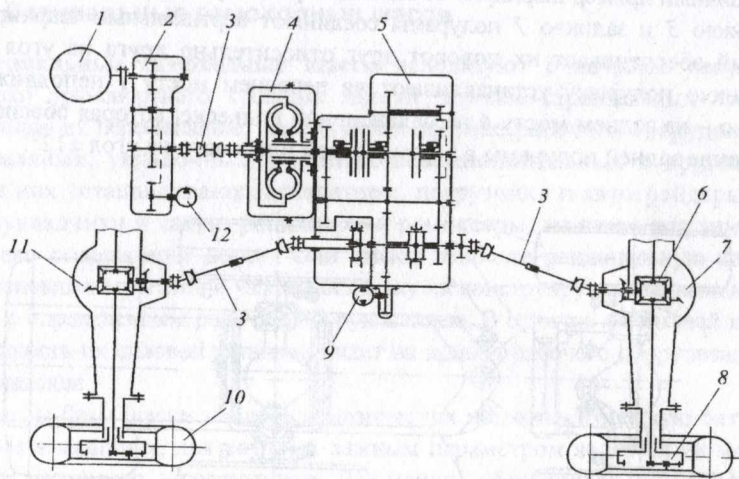


Рисунок 2.9 – Кинематическая схема двухосного шасси колесного погрузчика:

1 – двигатель; 2 – редуктор отбора мощности; 3 – карданные валы;
4 – гидротрансформатор; 5 – коробка передач; 6 – главная передача; 7, 11 – ведущие мосты;
8 – ступичный планетарный редуктор; 9 – гидронасос рулевого управления;
10 – колесо; 12 – гидронасос рабочего оборудования

Оснащение трансмиссии гидротрансформатором требует дополнительной гидросистемы для коробки передач. Один из вариантов такой гидросистемы (для трехосного автогрейдера) представлен на рисунке 2.10. Она служит для подпитки рабочей полости гидротрансформатора, а также для включения фрикционов и смазывания сопряжений. Насос 1 подает масло из бака 3 через фильтр 16 к гидрораспределителю 8 и регулятору давления 9. Регулятор поддерживает давление в главной линии 10 в пределах 0,70–0,85 МПа и перепускает рабочую жидкость в полости колес гидротрансформатора. Если давление увеличивают до 1,15 МПа, регулятор открывает слив жидкости по линии 15 в картер 2. Давление в полости гидротрансформатора поддерживают в пределах 0,15–0,20 МПа с помощью гидроклапана 11. При повышении давления до 0,45 МПа клапан по линии 13 перепускает рабочую жидкость в картер 2.

На мощных колесных и гусеничных машинах гидротрансформатор применяют в сочетании с планетарными коробками передач. Такие трансмиссии значительно упрощают управление движением машины, поскольку переключение передач происходит автоматически. При снижении нагрузки они позволяют легко переходить с низшей передачи на высшую, что сокращает время рабочего цикла. При установившемся движении происходит механическая блокировка гидротрансформатора и он работает как муфта сцепления.

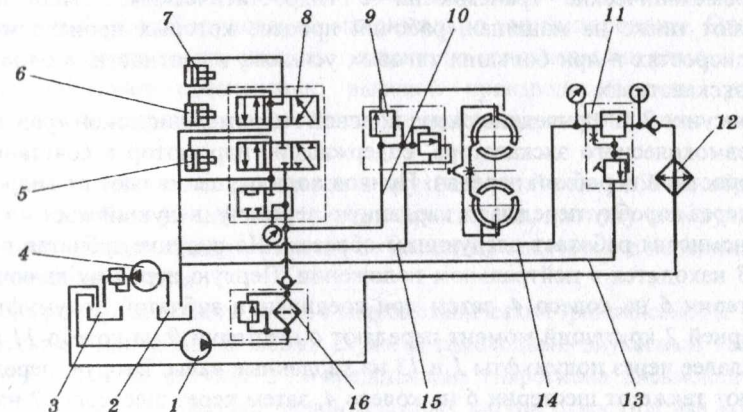


Рисунок 2.10 – Гидросхема гидромеханической коробки передач:

1 – питающий насос; 2 – картер коробки передач; 3 – гидробак; 4 – откачивающий насос;
5–7 – фрикционы; 8 – гидрораспределитель; 9 – регулятор давления; 10 – главная гидролиния;
11 – подпорный клапан; 12 – радиатор; 13–15 – гидролинии; 16 – фильтр

Гидромеханические трансмиссии с гидростатическим (гидрообъемным) компонентом имеют более высокий КПД за счет замены гидротрансформатора гидронасосом и гидромотором, которые устанавливают между двигателем внутреннего сгорания и коробкой передач. Такая замена способствует реализации оптимального режима работы двигателя при переменных нагрузках и, как следствие, снижению удельного расхода топлива.

На рисунке 2.11 представлена кинематическая схема фронтального погрузчика с бортовым поворотом колес, для привода хода которого используют объемный гидропривод. Колеса левого 6 и правого 10 бортов машины попарно приводят от двух отдельных гидромоторов 4 и 8 через бортовые редукторы 5 и 7.

В свою очередь гидромоторы получают вращение от двигателя 1 через насосы 3 и 9. Помимо упомянутых насосов в гидросистеме погрузчика имеется насос для привода рабочего оборудования.

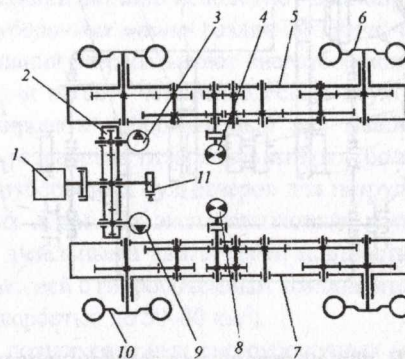


Рисунок 2.11 – Кинематическая схема колесного погрузчика с бортовым поворотом:

1 – двигатель; 2 – раздаточный редуктор;
3, 9 – насосы; 4, 8 – гидромоторы;
5, 7 – бортовые редукторы;
6, 10 – колеса; 11 – тормоз

Гидромеханические трансмиссии с гидростатическим компонентом применяют также на машинах, рабочий процесс которых происходит на малых скоростях и при больших тяговых усилиях, в частности, в одноковшовых экскаваторах.

На рисунке 2.12 приведена схема ходовой гидромеханической трансмиссии пневмоколесного экскаватора, содержащей гидромотор в сочетании с двухскоростной коробкой передач. Привод хода осуществляют от гидромотора 5 через коробку передач на карданную передачу, ведущий мост и колеса. Трансмиссия работает следующим образом. На рисунке зубчатая полумуфта 3 находится в нейтральном положении. Первую передачу включают от шестерни 6 на колесо 4, затем при соединении зубчатой полумуфты 3 с шестерней 2 крутящий момент передают с шестерни 9 на колесо 11 и на вал 12, далее через полумуфты 1 и 13 на карданные валы. Вторую передачу включают также от шестерни 6 на колесо 4, затем через шестерню 7 на колесо 8 при его соединении с зубчатой полумуфтой 3, далее момент передают с шестерни 9 на колесо 11 и на вал 12, далее через полумуфты 1 и 13 на карданные валы. Такие трансмиссии, наряду с функциями привода хода и поворота, выполняют функции тормозных систем, которые блокируют движение машины при остановке двигателя.

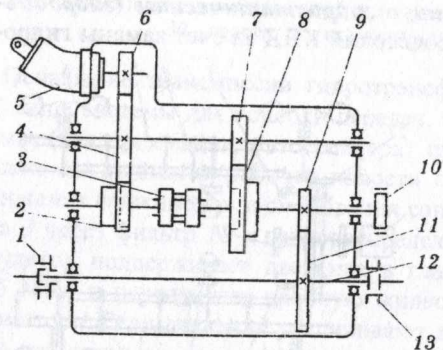


Рисунок 2.12 – Кинематическая схема гидромеханической трансмиссии с гидромотором:
1 – зубчатая полумуфта включения переднего ведущего моста;
2, 4, 6, 8, 11 – зубчатые колеса;
3 – зубчатая полумуфта переключения передач; 5 – гидромотор;
7, 9 – валы-шестерни; 10 – тормоз;
12 – выходной вал; 13 – зубчатая полумуфта

В нашей стране ряд унифицированных двухосных шасси обеспечивает передвижение и привод широкому типоразмерному ряду одноковшовых фронтальных погрузчиков, которые выпускает компания «Амкодор». Как и погрузчики других ведущих производителей, они базируются на специальных шасси, имеющих гидромеханическую трансмиссию с двумя ведущими унифицированными мостами с самоблокирующимися дифференциалами.

Мощность силовых установок находится в интервале от 90 до 190 кВт. Модели различаются габаритами и эксплуатационной массой (в пределах от 10 до 20 т). Их основные агрегаты (двигатели, коробки передач, ве-

дущие мосты, рулевое управление, элементы гидросистемы, кабины оператора) и рабочее оборудование максимально унифицированы. Отечественные погрузчики также оснащают шарнирно-сочлененными рамами, которые способствуют обеспечению высокой производительности, универсальности и маневренности, простоты управления и надежности в эксплуатации.

На самоходных колесных шасси и двухосных тягачах рабочее оборудование располагают в основном спереди фронтально, поэтому силовую установку располагают сзади (в отличие от колесных тракторов с передним расположением двигателя).

Примером специального шасси с гидромеханической трансмиссией (с гидростатическим компонентом) может служить самоходный двухосный каток на пневмошинах. На рисунке 2.13 представлена гидросхема пневмоколесного катка. К гидрооборудованию пневмоколесных катков относятся два контура. Во-первых, гидроконтур привода хода, который включает насос регулируемой подачи с блоком сервоуправления подпиточным насосом, обратными и предохранительными клапанами, которые объединяют в агрегате 2, а также гидромоторы 7. Во-вторых, гидроконтур рулевого управления катка, который включает насос постоянной подачи 14 и гидрораспределитель 10, гидрорулевой механизм 12, а также гидроцилиндры 9 и 11.

Ведущие производители дорожной техники активно используют полноприводные колесные шасси в качестве *снегоуборочных машин* различного назначения. Только в Японии более десяти компаний разрабатывают снегоуборочные бульдозеры, погрузчики и снегоочистители на базе четырехколесных двухосных шасси, стремясь при этом сформировать типоразмерный ряд машин. Например, в японской фирме «Kawasaki» разработан типоразмерный ряд (более десяти моделей) высокоскоростных снегоуборочных бульдозеров для патрульной очистки автомобильных и городских дорог. Их эксплуатационная масса составляет от 6 до 19 т; они оснащены дизельными двигателями мощностью 105–135 кВт, гидромеханической трансмиссией с гидрообъемным компонентом и способны обеспечить уборку снега со скоростью до 50–80 км/ч.

Колесное шасси применяют как для полноразмерных снегоуборочных машин, так и для мини-погрузчиков (при погрузке снега в автотранспорт или при его транспортировке на небольшие расстояния). Так, фирма «Kawasaki» выпускает четыре модели мини-погрузчиков с ковшами вместимостью от 0,26 до 0,6 м³ и мощностью 21 кВт для обслуживания снегоуборочных работ в стесненных условиях. Фирма «Kobelco» производит типоразмерный ряд колесных снегопогрузчиков (шесть моделей) с эксплуатационной массой от 4 до 15 т. Для тяжелых погрузчиков разрабатывают удлиненную базу шасси для обеспечения их продольной устойчивости.

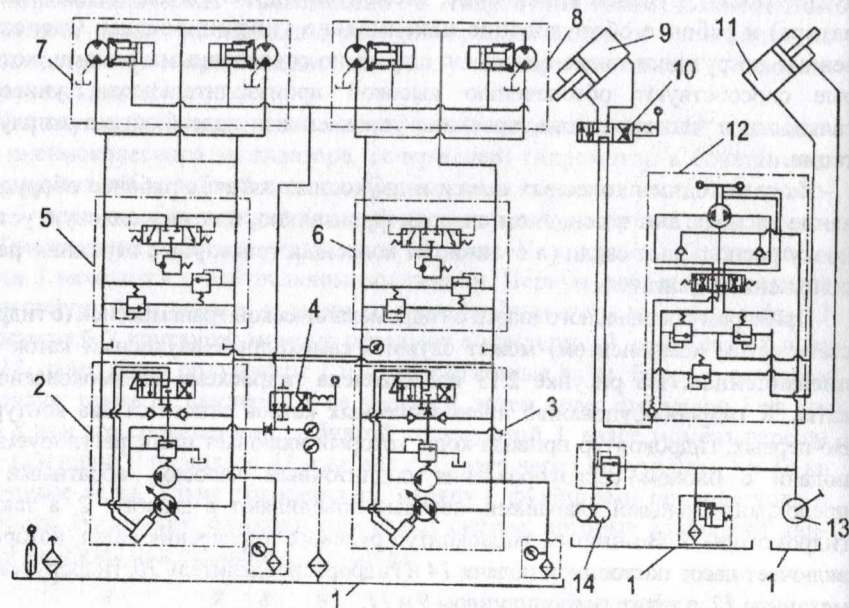


Рисунок 2.13 – Гидросхема катка на пневмошинах:

- 1 – гидробаки; 2 – насосный агрегат привода хода; 3 – насосный агрегат;
4, 10 – гидрораспределители; 5, 6 – клапанные коробки; 7, 8 – гидромоторы;
9, 11 – гидроцилиндры; 12 – гидрорулевой механизм; 13 – ручной поршневой гидронасос;
14 – гидронасос

Еще одним примером использования колесного шасси являются *шнеко- и фрезерно-роторные снегоочистители*. В частности, компания «ТСМ» производит средне- и крупногабаритные фрезерно-роторные снегоочистители для выполнения различных снегоуборочных работ (расчистки снежных завалов в зонах обильных снегопадов, уборки снега на городских улицах, очистки взлетно-посадочных полос аэропортов). Машины оснащают силовыми агрегатами мощностью от 180 до 440 кВт и гидромеханической трансмиссией с гидрообъемным компонентом, что обеспечивает очистку обрабатываемых полос от 1,0 до 2,6 м с производительностью до 2300–3400 т/ч.

Характерным примером специальных самоходных шасси являются *асфальтоукладчики*, которые в зависимости от типоразмера могут иметь двух-, трех- или четырехосное специальное самоходное шасси с полным или неполным приводом. Особенности конструкции шасси и привода хода существенно влияют на качество укладываемой смеси и производительность технологического процесса.

Привод хода включает регулируемый поршневой насос, поршневой гидромотор, механически управляемую коробку переключения передач и ведущий мост. В свою очередь вращение на ведущие колеса с моста передают цепные передачи. Удлинение колесной базы асфальтоукладчиков, применение качающейся подвески направляющих колес и полноприводных ходовых систем обеспечивают качество укладки колесными асфальтоукладчиками, не уступающее гусеничным машинам. Например, система полного привода асфальтоукладчиков фирмы «Volvo» включает антипробуксовочное устройство с функцией изменения крутящего момента для привода передних колес в зависимости от нагрузки, дифференциал заднего моста с электронным управлением, систему гидроцилиндров для регулирования положения обеих пар передних колес по высоте. Все это способствует обеспечению высокого качества укладки асфальтобетонной смеси независимо от рельефа и ширины дорожного полотна.

В *заднеприводных* машинах необходимое тяговое усилие обеспечивают за счет задних (на одной или двух осях) приводных колес большого диаметра. В некоторых случаях на сверхтяжелых машинах устанавливают (вместо заднего моста) на задней оси мотор-колеса с индивидуальным приводом на каждое колесо, который включает ступичный двухступенчатый планетарный редуктор. В частности, колесные асфальтоукладчики производства «Брянского Арсенала» оборудуют гидрообъемной ходовой трансмиссией с двумя задними ведущими мостами и двумя передними управляемыми. Крутящий момент от мостов на ведущие колеса передается с помощью втулочно-роликовой цепи. Электрогидравлический сервопривод позволяет после вынужденных кратковременных остановок возобновить движение с заданной скоростью без вмешательства машиниста.

В *переднеприводных* машинах привод выполняют либо на колеса одной оси, либо на колеса всех передних осей. Иногда для увеличения тяги также устанавливают передние мотор-колеса.

Специфика технологического процесса ремонта асфальтобетонного покрытия при помощи *дорожных фрез* влияет на конструктивные особенности колесных шасси. Все ведущие колеса выполнены по схеме «мотор-колесо» со встроенным ступичным планетарным редуктором, что создает возможность эффективного маневрирования в стесненных условиях. Ходовые системы дорожных фрез имеют гидравлический привод с автоматически регулируемой системой управления и нагрузки. Каждое колесо имеет независимую подвеску, благодаря чему фреза сохраняет заданный уклон независимо от профиля обрабатываемого полотна. Кроме этого, высокую маневренность обеспечивает рулевое управление. Оно имеет, как правило, четыре режима поворота: только передними или только задними движителями; скоординированный и боковой (так называемый «краб») – одновременно передними и задними движителями.

2.4 Автомобильные шасси

Автомобильные шасси используют для размещения на них различного технологического оборудования для содержания, строительства и ремонта автомобильных и городских дорог. На них устанавливают поливочно-моечные и подметально-уборочные машины, распределители дорожно-строительных материалов, автогудронаторы и бетономешалки, экскаваторы и краны. Для этих целей используют, как правило, шасси полноприводных грузовых автомобилей общего назначения. Их классифицируют по следующим основным признакам:

- по грузоподъемности – особо малой (до 1 т), малой (1–2 т), средней (2–5 т), большой (5–15 т) и особо большой (более 15 т);
- по типу трансмиссии – с механической, гидромеханической и электромеханической;
- по типу двигателя – с дизельным и карбюраторным;
- по длине базы – со стандартной (грузовики) и укороченной (тягачи);
- по расположению кабины управления – за двигателем и над двигателем;
- по количеству ведущих осей – двух-, трех-, четырехосные;
- по типу привода рабочего оборудования – от силовой установки базовой машины (автомобиля или тягача) и от автономного двигателя.

В качестве шасси дорожных и строительных машин используют в основном грузовые автомобили общего назначения (двух- и трехосные), а также двухосные тягачи с дизельным двигателем, который обладает большим КПД по сравнению с карбюраторным, большим сроком службы и меньшей токсичностью отработанных газов. Как правило, используют машины средней и большой грузоподъемности, реже – особо большой. Тягачи оборудуют специальным седельно-сцепным устройством (рисунок 2.14) для работы с прицепами и полуприцепами.

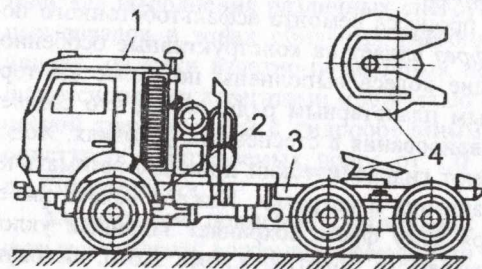


Рисунок 2.14 – Тягач с седельно-сцепным устройством:
1 – кабина; 2 – двигатель;
3 – шасси; 4 – седельно-сцепное устройство

Помимо общих требований, касающихся мощности силовой установки и необходимой грузоподъемности, они должны отвечать специальным требованиям. В их числе наличие ходоуменьшителя для выполнения

различных операций на рабочих скоростях (в том числе на ползучих – от 0,1 до 1,0 км/ч), а также оснащение усиленной рамой при использовании тяжелого рабочего оборудования (кранового, экскаваторного и др.).

Одним из примеров использования автомобильных шасси является поливочная машина на базе двухосного автомобиля-тягача (модели МА3) с седельным устройством (рисунок 2.15). Рабочее оборудование располагают на полуприцепе, в том числе цистерну, а также узлы и агрегаты, обеспечивающие технологический процесс.

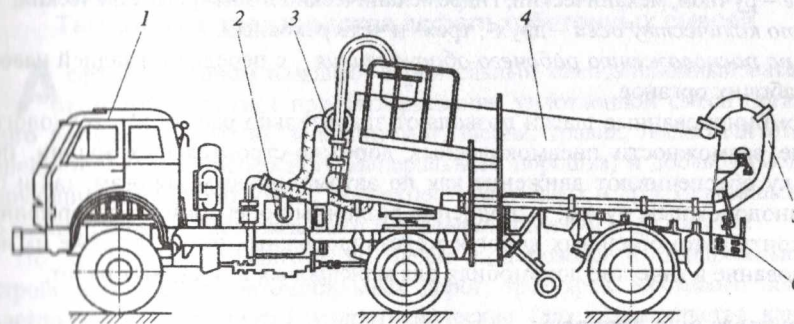


Рисунок 2.15 – Поливочная машина:
1 – базовое шасси; 2 – вакуумный насос; 3 – газораспределительный клапан; 4 – цистерна;
5 – заборный рукав; 6 – сливное устройство

Автомобильные шасси используют также в машинах для ремонта дорожных покрытий (автогудронаторах, распределителях щебня и битумо-щебнераспределителях). Для небольших объемов работ применяют шасси грузовых автомобилей, от двигателя которых приводят рабочее оборудование машины. Для масштабных объектов используют ремонтные автопоезда на базе автомобильных тягачей. В ряде случаев прицепную часть машины оснащают автономным двигателем для привода рабочего оборудования.

Комбинированные универсальные шасси. Помимо упомянутых традиционных пневмоколесных шасси производители машин выпускают комбинированные ходовые системы, способные перемещаться как по автомобильным дорогам, так и по железнодорожным путям. Для этих целей шасси базовых или тяговых машин дополнительно оснащают двумя (и более) осями, на которые устанавливают металлические ребордные колеса (катки) для движения по железнодорожному пути. Дополнительное ходовое оборудование, которое включает металлические железнодорожные колеса, подвеску колес и механизм их перевода из транспортного в рабочее положение, называют **комбинированным ходом**.

Комбинированный ход целесообразно классифицировать по следующим признакам:

- по назначению – для содержания и ремонта автомобильных дорог, для выполнения путевых работ, в качестве тягового модуля на железных дорогах;
- по типу базового транспортного средства – на грузовых автомобилях, колесных и гусеничных тракторах, специальных шасси;
- по виду привода – направляющий и ведущий с приводом от автономного двигателя и от двигателя базового шасси (через пневмоколеса или через трансмиссии);
- по типу привода механизма перевода из рабочего в транспортное положение – ручной, механический, гидромеханический и электромеханический;
- по количеству осей – двух-, трех- и четырехосный;
- по расположению рабочего оборудования – с передней и задней навеской рабочих органов.

Комбинированные шасси позволяют значительно расширить технологические возможности пневмоколесных дорожно-строительных машин, поскольку обеспечивают движение как по автомобильным дорогам, так и по железнодорожным путям, выполнение различных операций по содержанию и ремонту автомобильных дорог и железнодорожных путей, а также их использование в качестве локомобиля для маневровых и поездных работ.

Контрольные вопросы

- 1 Классифицируйте транспортные средства технологических машин по основным признакам.
- 2 Классифицируйте полноразмерные тракторы по основным признакам.
- 3 Какие конструктивные особенности обеспечивают эффективное использование пневмоколесных тягачей в качестве базовых шасси для работы с прицепным оборудованием?
- 4 Назовите и обоснуйте наиболее эффективные области применения специальных самоходных и автомобильных шасси.

3 МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

3.1 Классификация и свойства асфальтобетонов. Технология производства асфальтобетонных смесей

Асфальтобетоном называют строительный композиционный материал, который получают при затвердевании уплотненной смеси органического вяжущего (битума), заполнителей (щебня, гравия, песка или отсева), наполнителя (тонкодисперсного минерального порошка) и добавок (модифицирующих, структурирующих, поверхностноактивных и др.). Перемешанную, но неуплотненную смесь называют *асфальтобетонной (АБ) смесью*.

По назначению асфальтобетоны делят на дорожные и аэродромные (для устройства покрытий автомобильных дорог, тротуаров, мостового полотна, взлетно-посадочных полос), гидротехнические (для строительства каналов, шлюзов, гидромелиоративных сооружений, гидроизоляции), а также для промышленного и гражданского строительства (для устройства полов в цехах и складах, кровли зданий и т. п.). Более 95 % покрытий отечественных автомобильных дорог являются асфальтобетонными, что обусловлено следующими обстоятельствами:

- 1) достаточной механической прочностью асфальтобетонов к восприятию нагрузок от транспортных средств;
- 2) хорошим сцеплением покрытий с автомобильными шинами;
- 3) высокими показателями ровности;
- 4) широким применением промышленных методов приготовления асфальтобетонных смесей, их укладки и уплотнения на дороге;
- 5) возможностью повторного использования;
- 6) гигиеничностью по сравнению с грунтовыми и гравийными покрытиями;
- 7) бесшумностью при проезде транспорта по сравнению с цементобетонными покрытиями;
- 8) удобством очистки покрытий от снега в зимний и пыли в летний период;
- 9) быстротой и простотой ремонта при относительно невысокой стоимости работ.

Долговечность покрытий из асфальтобетонов при соблюдении технологии приготовления асфальтобетонной смеси (выбор материалов, проектирование состава), укладки и уплотнения составляет для загородных дорог 10–12 лет,

для городских – 6–8 лет. При использовании активированных компонентов срок службы покрытий возрастает на 2–3 года.

Асфальтобетонные смеси классифицируют по СТБ 1033–96 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия» на *щебеночные, гравийные и песчаные*.

В зависимости от вязкости битума и условий применения смеси подразделяют на следующие виды:

- *горячие* – приготовленные из вязких битумов и применяемые с температурой не ниже 120 °С;
- *теплые* – приготовленные из вязких и жидких битумов и применяемые с температурой не ниже 100 и 70 °С соответственно;
- *холодные* – приготовленные из жидких битумов и применяемые с температурой не ниже 5 °С.

Горячие и теплые смеси классифицируют в зависимости от наибольшего размера зерен минеральных материалов на следующие виды:

- *крупнозернистые* – с зернами размером до 40 мм;
- *мелкозернистые* – до 20 мм;
- *песчаные* – до 5 мм.

Холодные смеси подразделяют на *мелкозернистые* и *песчаные*.

Асфальтобетоны из горячих и теплых смесей в зависимости от величины остаточной пористости разделяют на следующие классы:

- *плотные* – с остаточной пористостью 1–5 %;
- *пористые* – 5–12 %;
- *высокопористые* – 12–18 %.

Щебеночные и гравийные смеси в зависимости от содержания в них щебня или гравия, а также песчаные смеси в зависимости от вида песка и качественных показателей разделяют (для плотных асфальтобетонов) на типы и марки, указанные в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Типы и марки плотных асфальтобетонных смесей

Типы смесей		Количество щебня (гравия), мас. %	Вид песка	Марки смесей	
горячие и теплые	холодные			горячие и теплые	холодные
А	–	50–65 щебня	–	І и ІІ	–
Б	Б _х	35–50 щебня или гравия	–	І, ІІ, ІІІ	І и ІІ
В	В _х	20–35 щебня или гравия	–	ІІ и ІІІ	ІІ
Г	Г _х	–	Дробленый или из отсеков дробления	І, ІІ, ІІІ	І
Д	Д _х	–	Природный	ІІ и ІІІ	ІІ

Горячие и теплые смеси (щебеночные, гравийные, песчаные) для пористых и высокопористых асфальтобетонов подразделяют на две марки: І и ІІ.

Условное обозначение асфальтобетонной смеси (согласно СТБ 1033–96) состоит из сокращенного обозначения смеси с указанием материала заполнителя (Щ – щебень, Г – гравий, П – песок) и его крупности (К – крупнозернистая, М – мелкозернистая); типа, вида (А_г, Б_г, В_х и т. д., индексы «г», «т», «х» соответственно для горячих, теплых и холодных видов смесей), марки смеси (І, ІІ, ІІІ), модуля остаточной деформации плотного асфальтобетона (Е, МПа) и обозначения действующего стандарта. Например, для плотной смеси типа Б марки І с Е = 100 МПа: ЩМБ_г – І/100 СТБ 1033–96.

По степени подвижности АБ смесь может быть *жесткой, пластичной и литой*. Литая смесь отличается повышенным содержанием битума и температурой приготовления 200–240 °С. С увеличением пластичности смеси требуется меньше энергии для ее уплотнения, но при этом снижается прочность покрытия при высоких температурах и возрастает вероятность появления пластических деформаций.

АБ смесь состоит в большинстве случаев из трех основных компонентов: битума, каменного материала и минерального порошка, каждый из которых готовят к смешению с учетом их состояния и свойств смеси.

Подготовка битума включает хранение его запаса, нагрев до состояния текучести, обезвоживание, нагрев до рабочей температуры и последующее дозирование.

Подготовка каменных материалов включает хранение запаса щебня и песка, предварительное дозирование и сортирование по фракциям, сушку и нагрев, а также окончательное дозирование и сортирование по фракциям.

Подготовка минерального порошка включает его хранение и дозирование.

Асфальтосмесительные установки (асфальтосмесители) используют для приготовления АБ смесей. Технологический процесс состоит из следующих основных операций:

- 1) предварительное дозирование минеральных материалов (песка, щебня, гравия, отсева);
- 2) их подача и загрузка в сушильные устройства, просушивание и нагрев до рабочей температуры;
- 3) сортирование в соответствии с техническими требованиями к выпускаемой смеси;
- 4) нагрев вяжущих материалов до рабочей температуры;
- 5) окончательное дозирование компонентов;
- 6) перемешивание всех компонентов;
- 7) выдача готовой смеси.

На рисунке 3.1 представлена принципиальная технологическая схема процесса приготовления АБ смеси на асфальтосмесительной установке. Со склада минеральные материалы (холодные и влажные щебень и песок) подают в агре-

гат питания 1, каждый расходный бункер которого имеет дозатор для предварительного взвешивания и дозирования фракции минерального материала.

Далее материалы непрерывно подают с помощью ленточного транспортера 2 в загрузочное устройство 4 сушильного агрегата 5, где их высушивают и нагревают до рабочей температуры.

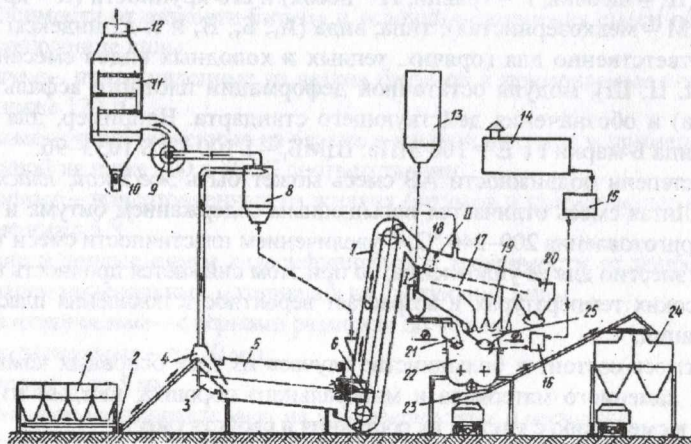


Рисунок 3.1 – Технологическая схема приготовления асфальтобетонной смеси:

- 1 – агрегат питания; 2 – ленточный транспортер; 3 – дымовая коробка;
5 – загрузочное устройство; 5 – сушильный агрегат; 6 – форсунка; 7 – горячий элеватор;
6, 8 – первая ступень очистки дымовых газов; 9 – дымосос; 10 – дозатор пыли;
11 – вторая ступень пылеочистки; 12 – дымовая труба; 13 – агрегат минерального порошка;
14 – битумохранилище; 15 – нагреватель битума; 16 – насосно-дозировочное устройство;
17 – сортировочный агрегат; 18 – перекидной лоток; 19 – горячий бункер; 20 – бункер негабарита; 21 – дозатор минерального порошка; 22 – смеситель;
23 – скиповый подъемник; 24 – накопительный бункер;
25 – дозатор минерального материала

При необходимости дополнительного фракционирования лоток 18 устанавливают в положение I и компоненты смеси с помощью элеватора 7 попадают в сортировочный агрегат (грохот) 17 для дополнительного фракционирования по отсекам бункера 19 и последующего дозирования, а некондиционные компоненты сбрасывают в бункер 20. Если необходимость дополнительного сортирования отсутствует, перекидной лоток 18 устанавливают в положение II и горячие материалы поступают в бункер песка и далее в дозатор, минуя грохот.

В установках периодического действия компоненты дозируют порциями с использованием дозировочных устройств и подают в смеситель 22: минеральный материал – дозатором 25; минеральный порошок – дозатором 21; нагретый битум (из битумохранилища 14) – насосно-дозировочным устройством 16. Подобные устройства применяют также для дозирования и подачи в смесь поверхностно-активных веществ, а также модифицирующих добавок.

Готовую порцию смеси выгружают из смесителя либо в ковш скипового подъемника 23 накопительного бункера 24, либо в кузов автосамосвала. Наличие накопительного бункера позволяет исключить простой смесительного агрегата при задержке транспорта, а по прибытии последнего до минимума сократить продолжительность простоя под загрузкой. За автоматической работой агрегатов ведется контроль с пульта управления кабины оператора.

Дымовые газы из сушильного барабана через дымовую коробку 3 поступают на первую ступень очистки 8, а уловленную в ней пыль направляют в горячий элеватор. Подача уловленной пыли в бункер минерального порошка, дозатор 21 или специальный дозатор пыли нежелательна по двум причинам: во-первых, пыль, уносимая из сушильного барабана, является неотъемлемым компонентом песка, и при ее частичной подаче в процессе дозирования может нарушиться проектная пористость и плотность асфальтобетона; во-вторых, силикатная пыль уноса является кислой породой и не может служить заменой минерального порошка, который готовят из известняка или доломита.

Очищенные на первой ступени дымовые газы дымососом 9 при необходимости подают на вторую ступень пылеочистки 11, на которой применяют мокрую очистку, рукавные фильтры, электрофильтры или другое воздухоочистительное оборудование. Затем газы выбрасывают в дымовую трубу 12, а уловленную пыль или шлам удаляют через дозатор 10.

Асфальтосмесительные установки классифицируют по следующим признакам:

- 1) по производительности, т/ч, – малой (до 40), средней (50–100), большой (150–350) и особо большой (более 400);
- 2) по мобильности – передвижные (сезонные), полустационарные и стационарные;
- 3) по конструктивному признаку (компоновке агрегатов) – башенные, партерные и комбинированные;
- 4) по технологическому принципу – циклического и непрерывного действия;
- 5) по типу смесителя – с лопастным и вибрационным;
- 6) по типу барабана – с сушильным и сушильно-смесительным.

Конструкция и компоновка агрегатов асфальтосмесительной установки зависят от ее назначения и условий работы.

Передвижные установки используют в основном при строительстве и ремонте дорог, а также других объектов, когда вблизи отсутствуют постоянно действующие асфальтобетонные заводы или их использование экономически нецелесообразно вследствие значительных транспортных расходов, возрастающих пропорционально увеличению расстояния от завода до объекта производства работ.

Стационарное оборудование или установки, базирующиеся в городе, сооружают капитально для длительной эксплуатации на одном и том же объекте. В отличие от них передвижные асфальтосмесители проектируют в расчете на многократную смену объектов эксплуатации, когда большие объемы работ выполняют в короткие сроки, например, для строительства или ремонта автомагистралей, аэродромов, гидротехнических сооружений и др. Передвижные агрегаты должны быть компактными, транспортабельными и мобильными. Поэтому агрегаты устанавливают на рамах специальных прицепных или полуприцепных транспортных средств. Они имеют монтажные приспособления и специальные устройства (лебедки, домкраты, блоки, кран-балки и т. п.) для оперативного монтажа и демонтажа оборудования. Их металлоконструкции обычно выполняют в виде легкоразъемных секций.

Различают две схемы движения материала в смесительной установке – вертикальную и горизонтальную, определяемые башенным или партерным расположением агрегатов. При башенном расположении (рисунок 3.2) агрегаты смесительного оборудования располагают один под другим по вертикали, и материалы нужно поднять только один раз, после чего они под действием собственной силы тяжести последовательно проходят через все агрегаты сверху вниз без дополнительных затрат энергии на их перемещение.

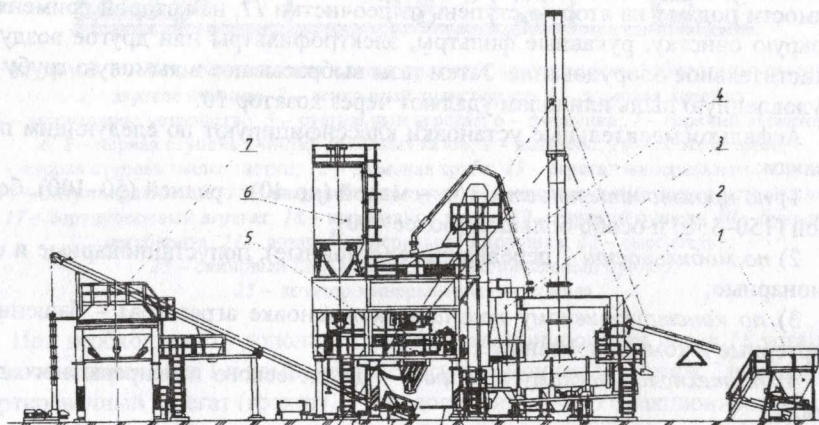


Рисунок 3.2 – Башенная асфальтосмесительная установка:

- 1 – агрегат питания; 2 – сушильный агрегат; 3 – система пылеулавливания;
4 – горячий элеватор; 5 – смесительный агрегат;
6 – расходный бункер; 7 – накопительный бункер готовой смеси

Установки башенного типа занимают сравнительно небольшую площадь, но отличаются значительной высотой, что усложняет ремонтные и монтажно-демонтажные работы.

При партерном расположении агрегаты смесительного оборудования располагают на рабочей площадке рядом один за другим и связывают меж-

ду собой транспортными средствами, т. е. требуются значительно большие площади, чем при башенном расположении. Однако наземное базирование агрегатов позволяет использовать при монтажных работах подъемно-транспортные механизмы меньшей грузоподъемности. При этом горячие минеральные материалы поднимают несколько раз от одного агрегата к другому, что увеличивает количество подъемных и транспортирующих машин и энергозатраты на транспортирование материалов. В остальном башенная конструкция уступает партерной.

Устройство и компоновка агрегатов асфальтосмесителя зависят также от способа перемешивания смеси. Различают *смесители периодического, непрерывного и смешанного действия*.

В агрегатах периодического действия загружается и перемешивается заданная порция материалов. Соответственно, выпускается готовая смесь периодически, через определенные промежутки времени.

В агрегатах непрерывного действия загрузку и перемешивание материалов, а также выпуск готовой смеси производят непрерывно.

В агрегатах смешанного действия загрузка минеральных материалов идет непрерывно, а выпуск готовой смеси – отдельными порциями через определенные промежутки времени.

В смесителях периодического действия заданную рецептуру смеси можно изменять от одного замеса к другому. В смесителях непрерывного действия изменение рецептуры требует перенастройки дозаторов и удаления минерального материала из смесителя и со всего пути до дозирующего устройства. Поэтому, если необходимо изменение рецептуры в течение смены, применяют смесители периодического действия. Во всех остальных случаях предпочтение отдают смесителям непрерывного действия.

3.2 Стационарные асфальтосмесительные установки

В основу конструкций стационарных установок положен принцип модульного агрегатирования, основанный на взаимозаменяемости деталей и узлов, а также высокой степени их унификации.

Как правило, в состав основного технологического оборудования асфальтосмесительных установок входят следующие узлы:

- 1) агрегат питания (узел предварительного дозирования);
- 2) сушильный агрегат;
- 3) система пылеулавливания;
- 4) смесительный агрегат;
- 5) битумоплавильный агрегат;
- 6) агрегат минерального порошка;
- 7) накопительный бункер готовой смеси;

- 8) пневмосистема;
- 9) технологические трубопроводы;
- 10) система управления с кабиной оператора.

Дополнительное оборудование включает хранилища битума, гудрона, поверхностно-активных веществ и добавок; дробильно-сортировочные установки; склады минеральных материалов и др.

Агрегат питания предназначен для предварительного дозирования всех фракций минеральных материалов, а также их непрерывной подачи в сушильный агрегат. Он состоит из бункеров 2–5, ленточных питателей 7, и горизонтального ленточного конвейера 1, установленного ниже уровня питателей (рисунок 3.3).

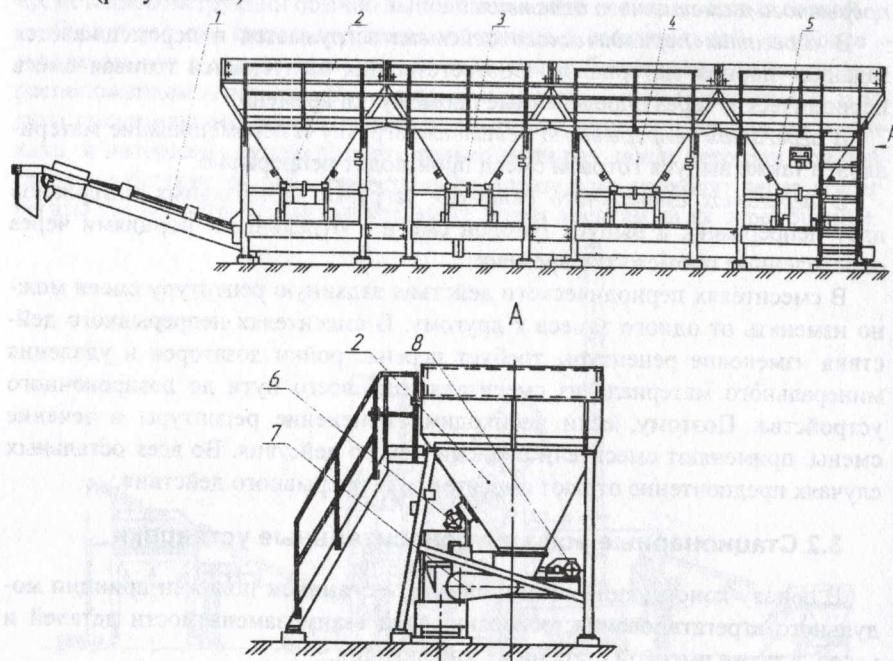


Рисунок 3.3 – Агрегат питания (узел предварительного дозирования):
1 – конвейер; 2–5 – бункеры; 6 – вибратор-сводообрушитель; 7 – ленточный питатель;
8 – привод питателя

Сушильный агрегат, основным узлом которого является сушильный барабан, предназначен для сушки и нагрева до рабочей температуры (150–250 °С) минеральных материалов.

Сушильные агрегаты классифицируют по следующим основным признакам:

- 1) по характеру технологического процесса – периодического и непрерывного действия;
- 2) по способу загрузки материалов – с неподвижными и вращающимися наклонными лотками, виброжелобами, кольцевыми элеваторами и ленточными транспортерами;
- 3) по способу сушки – с поточной и противоточной схемами движения материалов и горячих газов.

В состав сушильного агрегата (рисунок 3.4) входят сушильный барабан 6 с приводом вращения от электродвигателя 23 через ведущую шестерню 22 на зубчатый венец 3, топочный агрегат с воздухоподогревом и система топливоподачи. Одновременно электродвигатель передает крутящий момент на вентилятор газоотводящей системы 7.

В сушильных барабанах периодического действия материал загружают и выгружают порциями, что затрудняет контроль и регулирование температуры нагрева материала.

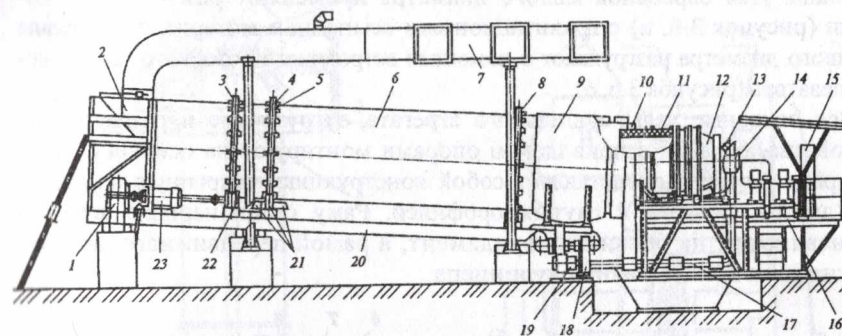


Рисунок 3.4 – Сушильный агрегат:

- 1 – редуктор; 2 – загрузочный короб с дымовой коробкой; 3 – зубчатый венец;
4, 8 – опорные бандажы; 5 – температурный компенсатор; 6 – сушильный барабан;
7 – газоотводящая система; 9 – камера горячего воздуха; 10 – разгрузочный короб;
11 – топка; 12 – зажигательный конус; 13 – подогреватель; 14 – форсунка; 15 – пульт управления; 16 – площадка для персонала; 17 – воздухопровод; 18 – вентилятор; 19 – электродвигатель вентилятора; 20 – рама; 21 – упорные и опорные ролики; 22 – ведущая шестерня;
23 – электродвигатель барабана

В сушильных барабанах непрерывного действия материалы загружают и выгружают непрерывно и равномерно, что значительно облегчает возможность контроля теплового процесса. В барабанах непрерывного действия используют две схемы относительного движения нагреваемых материалов и горячих газов: *поточную* и *противоточную*. Коэффициент использования теплоты горячих газов в барабанах с противоточной сушкой выше, чем в барабанах с поточной сушкой, поэтому в современных асфальтосмесительных установках применяют противоточную схему движения материалов.

Существует несколько способов загрузки материалов в сушильный барабан (рисунок 3.5).

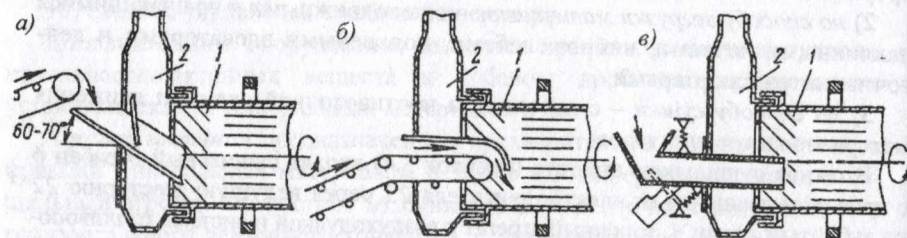


Рисунок 3.5 – Загрузочные устройства сушильных барабанов:
а – сыпной лоток; б – ленточный конвейер; в – виброжелоб;
1 – сушильный барабан; 2 – дымовая коробка

Конструкция разгрузочных устройств связана с диаметром сушильного барабана. Для барабанов малого диаметра применяют разгрузочные коробки (рисунок 3.6, а) с гравитационным сыпанием материала. Барабаны большого диаметра разгружают с помощью встроенного роторного (кольцевого) элеватора (рисунок 3.6, б).

Все основные узлы сушильного агрегата, загрузочное и разгрузочное устройства, барабан с приводом и опорами монтируют на основной несущей раме, которая представляет собой конструкцию, сваренную из стальных листов, проката и гнутых профилей. Раму стационарного агрегата устанавливают на бетонный фундамент, а рамой передвижного агрегата служит рама прицепа или полуприцепа.

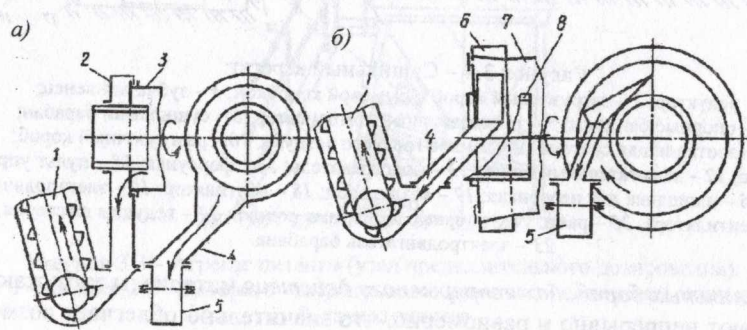
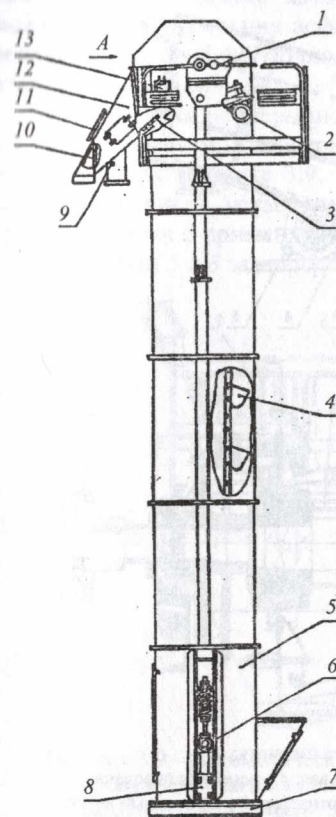


Рисунок 3.6 – Разгрузочные устройства сушильных барабанов:
а – сыпной лоток; б – роторный (кольцевой) элеватор;
1 – горячий элеватор; 2 – разгрузочный короб; 3 – сушильный барабан;
4 – сыпной лоток; 5 – приемная воронка; 6 – роторный (кольцевой) элеватор;
7 – обечайка сушильного барабана; 8 – топка

Со стороны разгрузочной коробки барабана устанавливают топочное устройство (см. рисунок 3.4), которое монтируют на специальной раме. Оно состоит из топки, форсунки, устройства для розжига, фотоголовки и исполнительных механизмов, позволяющих изменять расход топлива и воздуха, поступающих в форсунку. Топочные агрегаты работают на газообразном (природный газ) или жидком (мазут) топливе.

Смесительный агрегат со смесителем циклического действия предназначен для сортировки по фракциям и дозирования нагретых минеральных материалов, а также дозирования битума, минерального порошка и модифицирующих добавок, приготовления смеси и выдачи ее в транспортное средство или в бункер-накопитель. Он состоит из горячего элеватора (рисунок 3.7), верхнего блока (грохота, бункера негабарита и излишков, горячего бункера) и нижнего блока (дозатора минеральных материалов, дозатора битума, смесителя).



Вид А

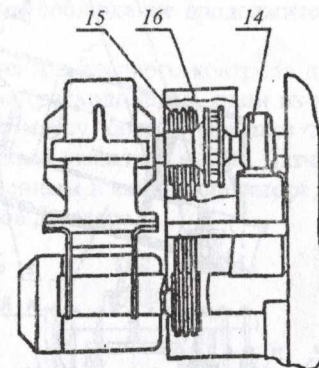


Рисунок 3.7 – Горячий элеватор:
1 – редуктор; 2 – электродвигатель;
3 – регулировочная планка;
4 – ковш; 5 – корпус; 6 – натяжной вал;
7 – основание;
8 – планка; 9 – заслонка;
10 – шторка; 11, 13 – задвижки;
12 – сыпной лоток; 14 – грузовой вал;
15 – шкив; 16 – кожух

Горячий элеватор (см. рисунок 3.7) представляет собой вертикально установленный ковшовый элеватор, на тяговой цепи которого закреплены ковши, поднимающие материал из сыпного лотка сушильного барабана в сортировочный агрегат. Цепь приводит электродвигатель 2 через редуктор 1 и грузовой вал 14. Натяжение цепи осуществляет натяжной вал 6. Во избежание тепловых потерь и образования пыли элеватор закрыт кожухом 16.

Грохот предназначен для сортировки минерального материала (щебня, гравия, песка, отсева) по фракциям. Большинство асфальтосмесительных установок оборудуют плоскими грохотами, эксцентриковый вариант грохота представлен на рисунке 3.8. Он имеет сварную раму 1, на которой устанавливают эксцентриковый вал 3. Вал 3 получает вращение от электродвигателя 5 через ременную передачу 4 и приводит в движение по окружности три (или четыре) яруса сит 13, которые обеспечивают рассеивание материала по требуемым фракциям.

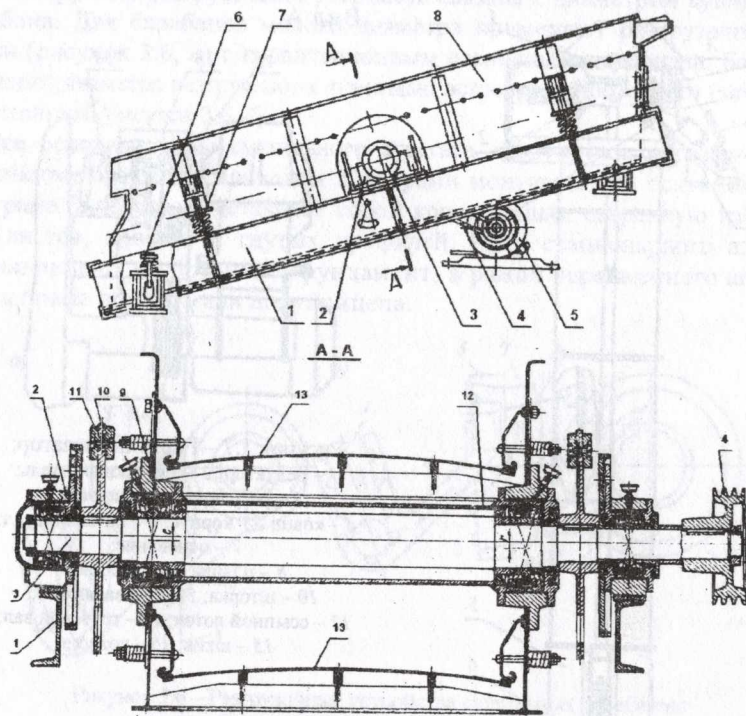


Рисунок 3.8 – Грохот агрегата питания:

- 1 – рама; 2, 9 – подшипники; 3 – эксцентриковый вал; 4 – ременная передача;
5 – электродвигатель; 6 – опора; 7 – пружинный амортизатор; 8 – подвижный короб;
10 – уравнивающий диск; 11 – контргруз; 12 – труба защитная; 13 – сита

Горячий бункер предназначен для накопления и кратковременного хранения отсортированного минерального материала в количестве, достаточном для бесперебойной работы дозирующих устройств. Температура минерального материала, находящегося в бункере, сохраняется постоянной за счет теплоизоляции его стенок.

Процесс контроля уровня минеральных материалов в отсеках горячего бункера и подачи его в весовой дозатор автоматизируют, управляя затворами отсеков и обеспечивая точное предварительное дозирование минерального материала. Оператор имеет возможность вручную управлять приготовлением смеси.

Дозатор минеральных материалов предназначен для подачи в смеситель компонентов асфальтобетонных смесей в заданных пропорциях. Для этих целей применяют весовые или объемные дозирующие устройства.

Для дозирования минеральных заполнителей применяют весовые устройства. Их управление может быть ручным, полуавтоматическим и автоматическим. Система автоматического дозирования обеспечивает возможность приготовления асфальтобетонных смесей по любому заданному рецептурному подбору, точное и надежное соблюдение продолжительности отдельных операций.

На смесителях непрерывного действия для весового контроля применяют весовые дозаторы непрерывного типа (расходомеры), один из которых представлен на рисунке 3.9. Требуемую массу каждой фракции задают с помощью датчиков, установленных на шкале указателя массы. Датчик электрически связан с приемником, установленным в кабине оператора, и пневмоцилиндрами 5 и 8 затворов 7 и 9 отсеков дозатора.

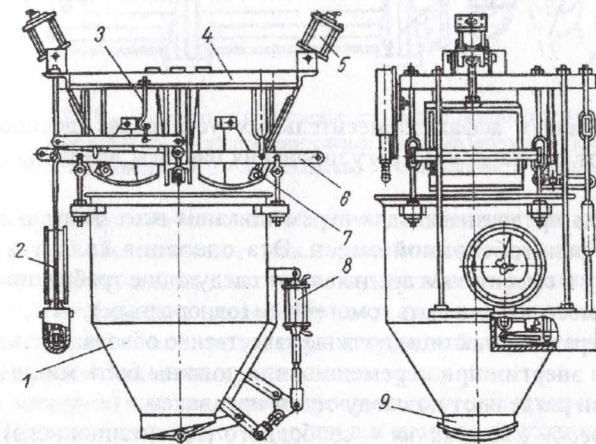


Рисунок 3.9 – Автоматический весовой дозатор минеральных материалов:

- 1 – корпус; 2 – тяга весовой системы; 3 – серьга подвески весовой системы;
4 – неподвижная верхняя рама; 5 – пневмоцилиндр; 6 – коромысло весовой системы;
7 – затвор загрузочного лотка; 8 – пневмоцилиндр управления затвором; 9 – затвор

Дозатор битума предназначен для подачи в смеситель заданного рецептурой количества вяжущего. Для этих целей используют дозаторы объемного действия, один из которых (с расходомером) представлен на рисунке 3.10. Он состоит из шестеренного насоса 5 с приводом, фильтра 7, перепускного крана 9, поршневого счетчика 11 с преобразователем потока и трубопроводов. Горячий битум из нагревателя поступает по трубопроводу 14 в кольцевой зазор между проволочным фильтрующим элементом 6 и стенкой фильтра 7. Отфильтрованный битум из полости Б насосом подают к крану 9 и затем через счетчик 11 в трубу 12 с форсунками, которые распыляют битум в смесителе. После впрыска в смеситель заданной дозы битума по сигналу с блока управления 10 кран 9 переключают и весь битум направляют через отверстие 8 в полость А и затем по возвратному трубопроводу 13 обратно в нагреватель.

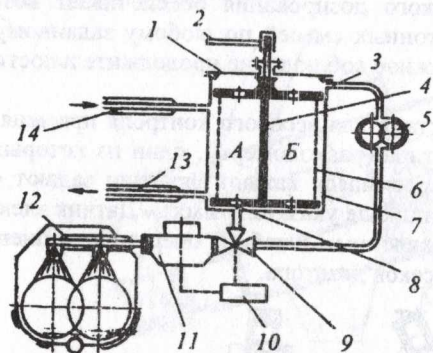


Рисунок 3.10 – Схема дозатора битума с расходомером:
1 – фланец; 2 – рукоятка;
3, 8 – входное и выходное отверстия;
4 – перегородка; 5 – насос;
6 – фильтрующий элемент;
7 – фильтр; 9 – кран; 10 – блок управления;
11 – счетчик; 12 – труба;
13, 14 – трубопроводы

В современных асфальтосмесительных установках дозировку битума осуществляют также за счет регулирования частоты вращения вала битумного насоса.

Смеситель предназначен для перемешивания всех отдозированных компонентов асфальтобетонной смеси. Эта операция является завершающей, поэтому к смесителям предъявляют следующие требования:

- состав смеси должен быть однородным;
- все минеральные частицы должны качественно обволакиваться битумом;
- затраты энергии при перемешивании должны быть минимальными.

Смесители разделяют по следующим признакам:

- 1) по способу смешивания – свободного (гравитационного) и принудительного перемешивания;
- 2) по режиму работы – непрерывного и периодического действия;
- 3) по количеству валов – одно- и двухваловые;
- 4) по рабочей скорости лопаток – тихоходные и скоростные.

Смесители свободного перемешивания имеют весьма ограниченные технологические возможности, поскольку не могут обеспечить высокое качество смешения многокомпонентных АБ смесей.

Смесители принудительного действия обеспечивают качественное перемешивание различных смесей, включая многокомпонентные. Их используют как для непрерывного, так и для периодического (порционного) процесса перемешивания. Они имеют, как правило, два лопастных вала, синхронно вращающихся внутри корпуса навстречу друг другу.

Смеситель непрерывного действия (с принудительным перемешиванием) представлен на рисунке 3.11. В корпусе 3 устанавливают два горизонтальных вала, на которых закрепляют по двенадцать пар лопастей 7, расположенных по винтовой линии. Корпус снабжают пылесборником 5, который связывает трубу отсоса запыленного воздуха с вентилятором пылеулавливающего агрегата, а сверху устанавливают распределительную битумную трубу 2 с тремя распылительными форсунками.

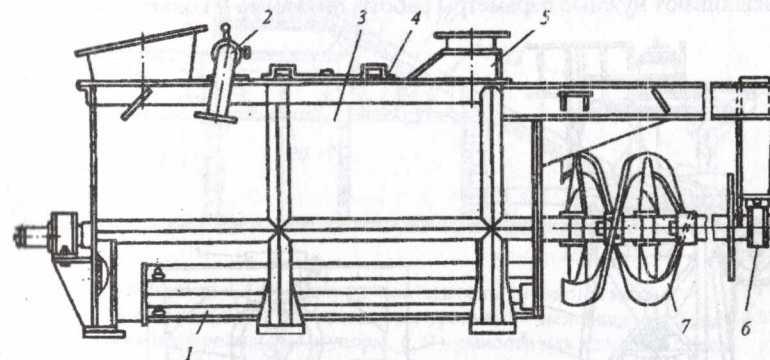


Рисунок 3.11 – Двухлопастной смеситель непрерывного действия:
1 – масляная рубашка; 2 – распределительная труба для битума; 3 – корпус;
4 – крышка пыленепроницаемая; 5 – пылесборник; 6 – подшипник; 7 – винтовая лопасть

В смесителях периодического действия также имеется два лопастных вала. Эти валы обеспечивают как *противоточную*, так и *поточно-контурную* схемы движения смеси, что существенно расширяет технологические возможности смесителей. Привод смесителя состоит, как правило, из электродвигателя, редуктора и зубчатой передачи между валами, которая обеспечивает синхронность их вращения.

Агрегат минерального порошка предназначен для приема, временного хранения и подачи минерального порошка в дозатор смесительного агрегата. В этих агрегатах используют башенную компоновку оборудования, независимо от типа асфальтосмесительной установки. В зависимости от объемов производства смесей используют агрегаты периодического и непрерывного действия.

Агрегат минерального порошка непрерывного действия (рисунок 3.12) обеспечивает не только временное хранение порошка, но и его непрерывное весовое дозирование. Порошок из силоса 1 поступает через аэрирующее устройство 2 в дозировочный блок 3, где происходит непрерывное весовое дозирование порошка. Затем по лотку 4 его ссыпают в приемную коробку смесительного агрегата.

На рисунке 3.13 приведена схема дозировочного блока агрегата минерального порошка. Он содержит два секторных питателя 6 и 8, которые равномерно подают порошок на весовой ленточный конвейер 10. Весовой конвейер устанавливают на опорах, одной из которых является тензометрическое кольцо 7, уравновешенное грузом 2. Для заданной массы порошка на ленте конвейера устанавливают необходимую скорость ленты и подачу дозатора. При изменении массы на ленте изменяют ее скорость и частоту вращения питателя. При изменении заданного количества порошка на ленте с помощью электронной системы управления включают вариатор 3 и через цепные передачи 14 и 16 устанавливают нужные параметры работы питателей и конвейера.

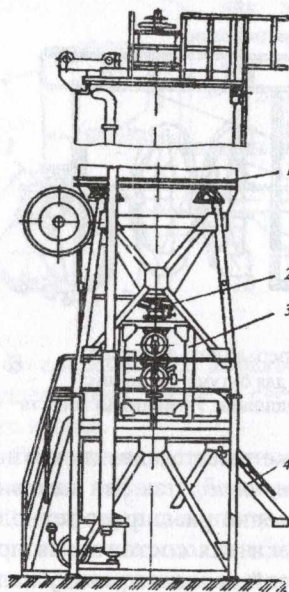


Рисунок 3.12 – Агрегат минерального порошка асфальтосмесителя непрерывного действия:
1 – силос; 2 – аэрирующее устройство; 3 – дозировочный блок; 4 – ссыпной лоток

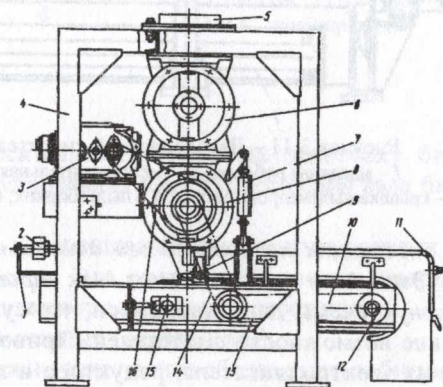


Рисунок 3.13 – Дозировочный блок агрегата минерального порошка:
1 – рычажная передача; 2 – груз; 3 – вариатор; 4 – ферма; 5 – патрубок; 6, 8 – питатели; 7 – тензометрическое кольцо; 9 – опора; 10 – конвейер; 11 – кожух; 12 – звездочка; 13, 14, 16 – цепные передачи; 15 – натяжное устройство

Бункер готовой смеси (бункер-накопитель) используют для кратковременного хранения и выдачи в транспортные средства готовой АБ смеси.

Вместимость бункера выбирают в зависимости от производительности асфальтосмесителя, его назначения и условий работы. Бункеры готовой смеси выпускают односекционными (для одной марки смеси) или многосекционными (для хранения смесей нескольких марок).

Бункер готовой смеси, представленный на рисунке 3.14, состоит из двух теплоизолированных и обогреваемых бункеров 6 и 9, подвижной емкости 15, эстакады 13, скипа 16, лебедок 1 и 18, а также лотка 11.

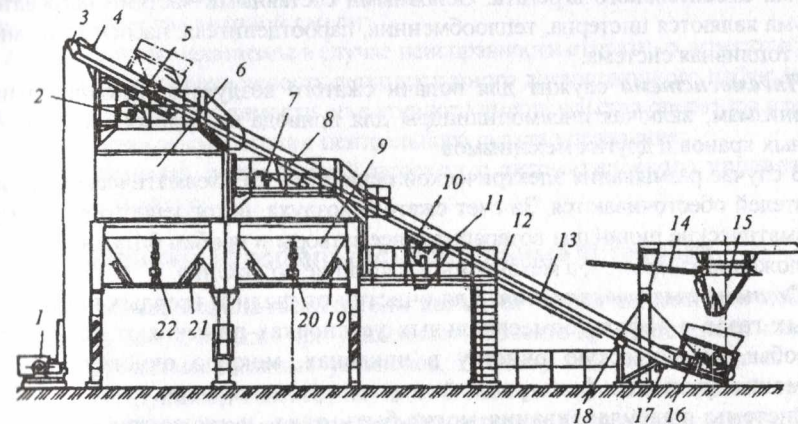


Рисунок 3.14 – Бункер-накопитель готовой смеси:
1, 18 – лебедки; 2, 7 – сигнализаторы уровня; 3 – неподвижный блок; 4 – аварийный ролик; 5, 8 – упоры; 6, 9 – емкости для хранения смеси; 10 – подвижный упор; 11 – лоток; 12 – тяговый канат лебедки; 13 – эстакада; 14 – направляющие; 15 – подвижная емкость; 16 – скип; 17 – конечный выключатель; 19, 21 – затворы с электрическим подогревом; 20, 22 – пневмоцилиндры

Готовую смесь подают из смесительного агрегата через подвижную емкость 15 в скип 16, который представляет собой бункерную тележку. Скип перемещают по эстакаде с помощью лебедки 1 через тяговый канат 12. При наезде на поднятый упор (5 или 8 в зависимости от места выгрузки) его затвор открывают и смесь выгружают в емкость 6.

Лоток 11 используют для приема смеси, приготовленной по специальному рецепту, или бракованной смеси.

Промежуточный бункер 9 служит для выгрузки смеси в транспортное средство при неустановившемся режиме работы или в случае выпуска бракованной смеси.

Скип служит для подачи смеси из смесителя в бункер-накопитель или в промежуточный бункер. Он представляет собой бункерную тележку, установленную на осях с катками и оснащенную секторным затвором.

Для предотвращения прилипания горячей смеси к кузовам транспортных средств асфальтосмесительные установки имеют систему опрыскивания, подающую эмульсионный состав (две части дизельного топлива и одна – воды).

Существующие асфальтосмесительные установки в большинстве случаев имеют бункеры-накопители вместимостью 30, 50 и 100 т. Для замедления охлаждения смеси в обогреваемом бункере герметизируют затворы и обогревают выпускную воронку.

Нагреватель битума предназначен для обезвоживания и нагрева вяжущего материала до рабочей температуры с его последующей перекачкой в дозатор битума смесительного агрегата. Основными составными частями нагревателя битума являются цистерна, теплообменник, пароотделитель, насосные установки и топливная система.

Пневмосистема служит для подачи сжатого воздуха к исполнительным механизмам, включая пневмоцилиндры для привода секторных затворов, битумных кранов и других механизмов.

В случае размыкания электрической цепи обмотки пневматических распределителей обесточиваются. За счет сжатого воздуха, накопленного в ресивере, пневматические цилиндры возвращают все затворы и пробки битумных кранов в положение «закрыто», а механизмы – в крайние положения.

Система пылеулавливания. Для очистки от пыли и твердых частиц дымовых газов в асфальтосмесительных установках применяют следующие способы: механическую очистку в циклонах, мокрую очистку, очистку с помощью рукавных фильтров и электрическую сепарацию.

Системы пылеулавливания могут быть *одно- и многоступенчатыми*. В качестве первой ступени очистки для улавливания крупных частиц пыли в основном применяют циклоны, для улавливания мелких частиц пыли на второй и последующих ступенях очистки используют мокрые пылеуловители, рукавные фильтры и электрическую сепарацию.

Система управления. Ручное управление асфальтосмесительной установкой представляет собой ответственный процесс, требующий от оператора участия в контроле, регулировании, анализе информации и диагностике следующих основных операций:

- 1) предварительного дозирования и подачи в сушильный агрегат минеральных материалов;
- 2) просушивания и нагрева до рабочей температуры минеральных материалов;
- 3) сортировки минеральных материалов;
- 4) взвешивания минеральных заполнителей и минерального порошка;
- 5) дозировки битума;
- 6) подачи в смеситель отдозированных минеральных компонентов и вяжущего;
- 7) перемешивания асфальтобетонной смеси;

8) выдачи смеси в скип или транспортное средство;

9) загрузки смеси в бункер-накопитель.

Автоматизированные системы управления современных асфальтосмесителей на базе микропроцессорной техники контролируют технологический процесс приготовления АБ смесей, регулируя режимы операций с учетом заданных соотношений компонентов. При этом системы должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) обеспечивать эффективную работу автоматики всех узлов и агрегатов при подготовке компонентов, их смешении (по любому заданному рецепту с возможностью быстрой перестройки рецептуры) и выдачи заданного количества готовой смеси;
- 2) блокировать механизмы в случае неисправности отдельных агрегатов;
- 3) обеспечивать возможность легкодоступного дистанционного наблюдения оператора и при необходимости оперативного вмешательства оператора в работу всех механизмов смесителя с центрального пульта управления;
- 4) обеспечивать оперативный переход с автоматического управления на ручное и обратно.

3.3 Передвижные асфальтосмесительные установки

Передвижные асфальтосмесители являются эффективными для небольших объемов работ, а также при удаленности объекта производства от стационарных асфальтосмесительных установок. Поэтому они должны иметь компактную конструкцию, максимальную мобильность при минимальной трудоемкости монтажных и демонтажных работ, а также обеспечивать возможность оперативного выпуска различных типов асфальтобетонных смесей.

Исходя из конструктивной компоновки и количества технологических узлов выделяют две основные группы передвижных асфальтосмесительных установок: *малой* (3–50 т/ч) и *большой* (50–150 т/ч) производительности.

Асфальтосмесители малой производительности обычно устанавливают на двухосных прицепах и транспортируют грузовыми автомобилями. В рабочем положении асфальтосмеситель опирается на винтовые домкраты. Его основными узлами являются рама, загрузочные устройства, сушильный барабан, дозирующие устройства, смеситель, расходные емкости для хранения топлива и вяжущего материала.

Асфальтосмесители большой производительности состоят из двух, трех или более агрегатов, базирующихся на прицепах или полуприцепах к грузовым автомобилям, и включают узлы, которые используют в стационарных асфальтосмесителях.

Особенности технологических процессов приготовления АБ смесей на установках периодического и непрерывного действия можно проанализировать по рисунку 3.15, на котором представлены асфальтосмесители башенного и партерного типа.

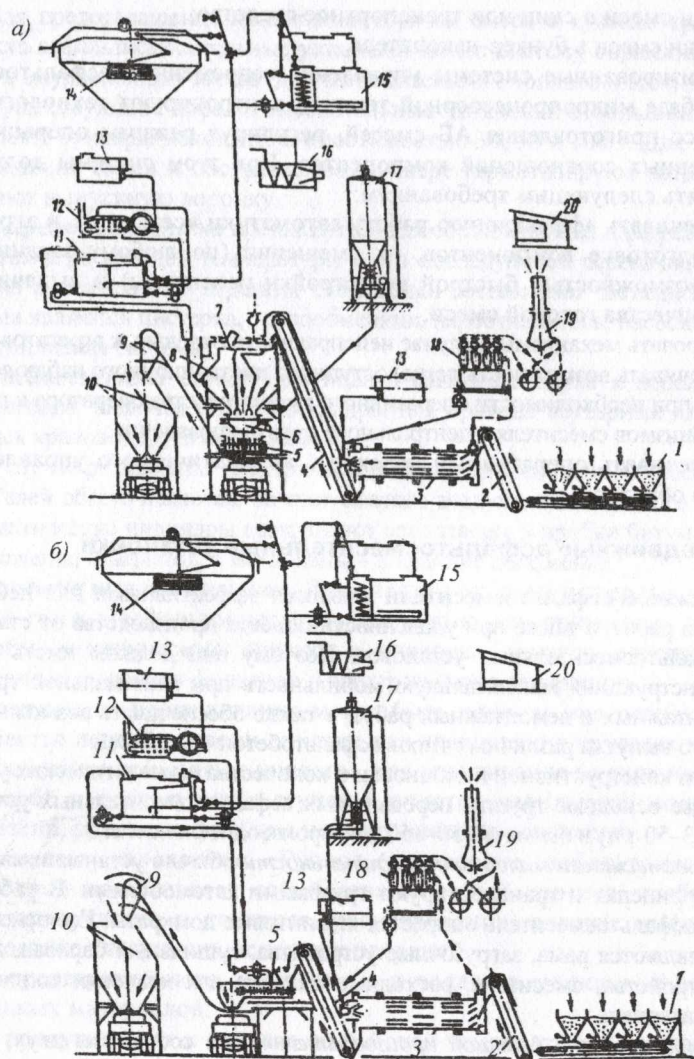


Рисунок 3.15 – Схемы процессов приготовления АБ смесей на передвижных установках башенного (а) и партерного (б) типов:

1 – агрегат питания; 2 – элеватор; 3 – сушильный агрегат; 4 – конвейер; 5 – смеситель лопастной; 6 – дозатор; 7 – сортировочное устройство; 8 – бункер; 9 – ковш скипового подъемника; 10 – бункер готовой смеси; 11 – нагреватель битума; 12 – нагреватель трубчатый; 13 – бак с жидким топливом; 14 – нагревательно-перекачивающий агрегат; 15 – цистерна с битумом; 16 – нагреватель; 17 – агрегат минерального порошка; 18 – пылеулавливающее устройство сухой очистки; 19 – пылеулавливающее устройство мокрой очистки; 20 – кабина

Подготовка компонентов не зависит от типа установки и состоит из следующих операций: подачи песка и щебня в бункеры агрегата питания 1 и их дозирования; транспортирования компонентов многоковшовым конвейером 2 в барабан сушильного агрегата 3; суши и нагрева до заданной температуры.

В установке периодического действия башенного типа (см. рисунок 3.15, а) подготовленные компоненты транспортируют конвейером 4 в сортировочное устройство 7, в котором их распределяют по фракциям, затем подают в отдельные отсеки бункера 8, взвешивают с помощью автоматического весового дозатора 6, подают в лопастной смеситель 5, после которого готовую асфальтобетонную смесь скипом 9 направляют в транспортное средство.

В установке непрерывного действия партерного типа (см. рисунок 3.15, б) подготовленные компоненты поступают с конвейера 4 непосредственно в смеситель 5, после чего готовую асфальтобетонную смесь скипом 9 направляют в транспортное средство.

Мобильность передвижных установок находит отражение в конструкциях основных агрегатов. На рисунке 3.16 представлена конструктивная схема передвижного агрегата питания, выполненного в виде двухосного прицепа. На раме 6 прицепа размещают бункеры 1, оснащенные вибрационным сводообрушителем 2. Под каждым бункером устанавливают питатель 8, который обеспечивает дозирование и подачу минерального материала (щебня и песка) на ленту конвейера 7.

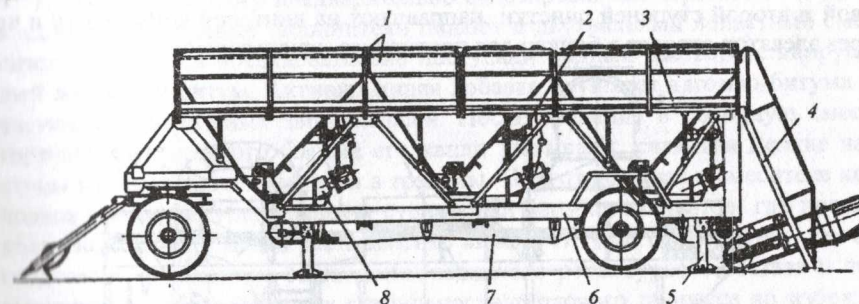


Рисунок 3.16 – Передвижной трехсекционный агрегат питания:
1 – бункеры; 2 – сводообрушитель; 3 – смотровая площадка; 4 – лестница;
5 – выносная опора; 6 – рама; 7 – конвейер; 8 – питатель

Передвижной сушильный агрегат асфальтосмесителя непрерывного действия также изготавливают в виде отдельного прицепа на пневмоколесном ходу (рисунок 3.17). Раму 10 оснащают сушильным барабаном 3 с приводом 9, загрузочной 2 и разгрузочной 4 коробками и топочным устройством 5. Кроме того, перед загрузочной коробкой устанавливают весовое устройство 1 для контроля работы питателей агрегата питания асфальтосмесителя.

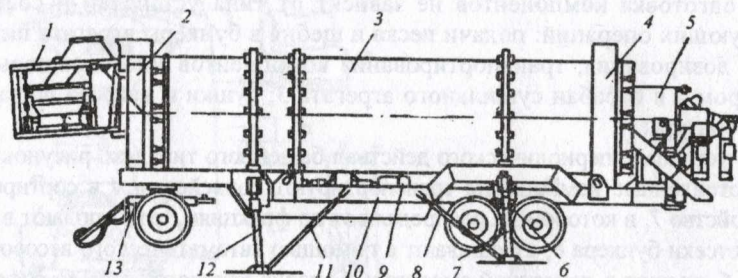


Рисунок 3.17 – Передвижной сушильный агрегат:

1 – весовое устройство; 2 – загрузочная коробка; 3 – барабан; 4 – разгрузочная коробка; 5 – топочное устройство; 6, 13 – тележки; 7, 12 – опорные стойки; 8, 11 – раскосы; 9 – привод; 10 – рама

Передвижной пылеулавливающий агрегат, представленный на рисунке 3.18, также имеет пневмоколесное ходовое устройство, на котором смонтирована рама 1. На раме устанавливают три пылеулавливающих устройства: циклон 9 рециркуляции, батарейный циклон 4 и барботажно-вихревое устройство мокрой очистки 2.

Первичную очистку горячего газа производят в циклоне 9, после чего он поступает в батарейный циклон 4 (вторая ступень очистки) и далее в устройство мокрой очистки 2. Сухую пыль, собранную в устройствах первой и второй ступеней очистки, направляют на винтовой конвейер 10 и через элеватор отводят в бункер для повторного использования.

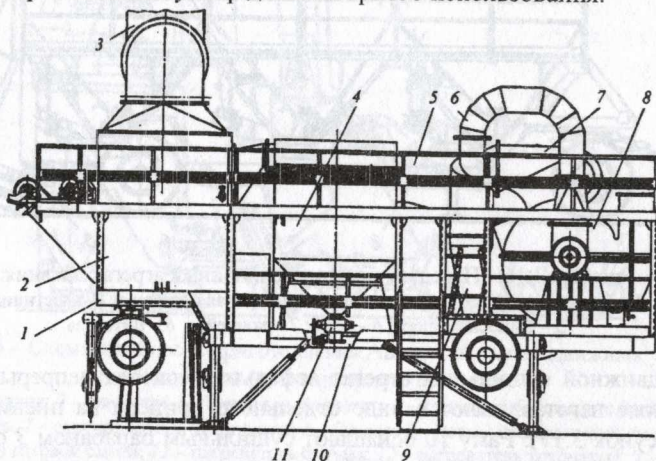


Рисунок 3.18 – Передвижной трехступенчатый пылеулавливающий агрегат:

1 – рама; 2 – барботажно-вихревое пылеулавливающее устройство мокрой очистки; 3 – дымовая труба; 4 – батарейный циклон; 5–7 – трубы; 8 – дымосос; 9 – циклон рециркуляции; 10 – винтовой конвейер; 11 – затвор-питатель

Совершенствование технологии получения асфальтобетонных смесей осуществляют в нескольких направлениях, в их числе вибрационное смешение и беспыльное приготовление АБ смесей, а также регенерация использованного асфальтобетона.

При вибрационном смешении используют те же технологические агрегаты, что и при традиционном. Отличие состоит в конструкции смесителя, корпус которого вибрирует с заданной частотой. Вибрация корпуса и рабочих органов смесителя разрушает коагуляционную структуру битума и облегчает адсорбцию асфальтенов, входящих в его состав, на поверхности минеральных материалов. При этом битум переходит в пленочное состояние и лучше обволакивает минеральные частицы, что приводит к повышению качества асфальтобетонной смеси. Однако этот метод пока не получил широкого распространения из-за низкой долговечности узлов вибрационных смесителей.

Более совершенной является технология беспыльного приготовления асфальтобетонной смеси, которое осуществляют двумя способами: во-первых, влажные минеральные материалы смешивают с битумом в смесителе до сушки; во-вторых, влажные минеральные материалы смешивают с битумом в процессе сушки и нагрева в сушильно-смесительном барабане. Особенностью технологии является смешение минеральных заполнителей в присутствии жидкого битума, который удерживает пылевидные частицы, что способствует существенному снижению интенсивности пылевыведения.

По первому способу предварительно отдозированные агрегатом питания влажные минеральные заполнители подают в двухвальный лопастный смеситель, в который последовательно поступают водный раствор активирующей добавки и битум. Активирующая добавка улучшает адгезию битума к частицам минеральных заполнителей. После введения в холодную смесь горячего распыленного битума его капли застывают, связывая мелкие частицы минерального материала в гранулы. Приготовленная в смесителе холодная смесь поступает далее в сушильный барабан-активатор, где происходит испарение влаги и расплавление капель битума. Однако этот способ отличается сложностью соблюдения заданного рецептурного состава и повышенными требованиями к стабильности теплового процесса во избежание разрушения и окисления битумной пленки.

Второй способ беспыльного приготовления асфальтобетонной смеси получил большее распространение. Предварительно отдозированные в агрегате питания 1 влажные заполнители (песок, щебень, минеральный порошок) подают по ленточному конвейеру 5 в сушильный барабан 6 (рисунок 3.19). В первой (радиационной) зоне сушильного барабана производят нагрев и сушку минеральных материалов. Во вторую (конвективную) зону сушильного барабана подают форсунками 8 расплавленный битум, где в среде горячих газов и паров воды происходит смешение компонентов.

Для исключения прямого контакта факела горящего топлива с битумом и снижения его выгорания используют различные методы. В их числе разделение радиационной и конвективной зон сушильно-смесительного барабана диафрагмой (см. рисунок 3.19); применение специальной системы подъемно-сбрасывающих лопастей, создающих непроницаемый для излучения факела экран из сыпавшегося материала; использование короткофакельных топков.

Наличие в зоне активного пылеобразования жидкого битума способствует улавливанию частиц пыли и существенному снижению интенсивности пылевыведения.

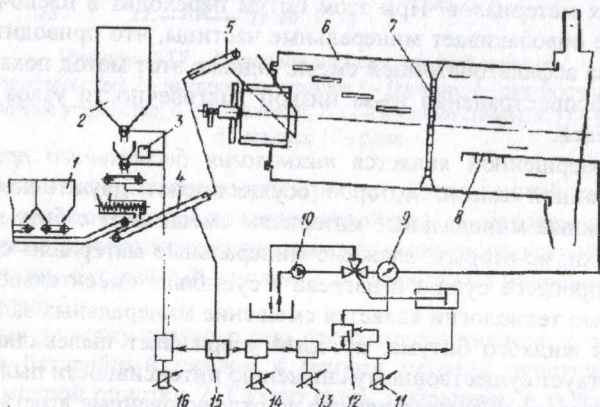


Рисунок 3.19 – Схема беспыльного приготовления асфальтобетонных смесей: 1 – агрегат питания; 2 – агрегат минерального порошка; 3 – система дозирования минерального порошка; 4 – датчик расхода материала; 5 – транспортер; 6 – сушильно-смесительный барабан; 7 – диафрагма; 8 – форсунки подачи битума; 9 – расходомер битума; 10 – битумный насос; 11 – устройство корректировки подачи битума; 12 – сравнивающее устройство; 13 – задатчик процентного содержания битума; 14 – устройство корректировки влажности; 15 – устройство контроля расхода влажных материалов; 16 – задатчик расхода минерального порошка

Одним из направлений приготовления асфальтобетонных смесей является ресурсосберегающая технология применения использованного асфальтобетона путем его регенерации. Для ее реализации используют как существующие асфальтосмесительные установки, оснащенные дополнительными устройствами для переработки старого асфальтобетона, так и специализированные установки для его регенерации.

Расчет основных параметров асфальтосмесительных установок.

Техническая производительность асфальтосмесительной установки циклического действия, т/ч,

$$\Pi_{\text{тех}} = \frac{M}{60t}, \quad (3.1)$$

где M – масса одного замеса, кг;

t – полное время цикла, мин,

$$t = t_1 + t_2 + t_3,$$

t_1 – время, необходимое для загрузки смесителя, мин;

t_2 – время, необходимое для перемешивания, мин;

t_3 – время, необходимое для разгрузки замеса, мин.

Полное время цикла зависит от рецептуры смеси и конструкции асфальтосмесителя. Для современных установок время цикла $t = 0,8 \dots 1,0$ мин.

Эксплуатационная производительность асфальтосмесителя, т/ч,

$$\Pi_3 = K_B \Pi_{\text{тех}} t_{\text{см}} = \frac{Mt_{\text{см}}}{60t}, \quad (3.2)$$

где K_B – коэффициент использования асфальтосмесителя по времени, $K_B = 0,85 \dots 0,90$.

$t_{\text{см}}$ – количество часов работы в смену, ч;

Техническая производительность асфальтосмесительной установки непрерывного действия, м³/ч,

$$\Pi_{\text{тех}} = 3,6 \cdot 10^3 F v_{\text{ос}}, \quad (3.3)$$

где F – площадь поперечного сечения материала в смесительном барабане, м²;

$v_{\text{ос}}$ – скорость осевого перемещения смеси, м/с.

Расчет сушильного агрегата. Расчет основных параметров сушильного агрегата включает в себя определение основных размеров сушильного барабана, оценку сил сопротивления и мощности привода.

Объем сушильного барабана, м³, определяют по заданной производительности

$$V_6 = \frac{\Pi_6}{A}, \quad (3.4)$$

где Π_6 – производительность барабана, кг/ч;

A – количество влаги, удаляемой из 1 м³ барабана за 1 ч, $A = 125 \dots 250$ кг/(м³·ч).

Длина барабана, м,

$$L_6 = m h_{\text{cp}} t n t g \alpha, \quad (3.5)$$

где m – число падений частицы материала за один оборот барабана, $m = 1,7 \dots 2,5$;

h_{cp} – средняя высота подъема, м,

$$h_{\text{cp}} = 0,6 D_6,$$

D_6 – диаметр барабана, м;

t – время пребывания материала в барабане, необходимое для его подогрева, $t = 2 \dots 4$ мин;

n – частота вращения барабана, зависящая от его диаметра, $n = 8 \dots 16$ мин⁻¹ при окружной скорости $v = 0,75 \dots 0,85$ м/с;

α – угол наклона барабана к горизонту, $\alpha = 3 \dots 5^\circ$.

Диаметр барабана, м, выбирают с учетом соотношения

$$\frac{D_6}{L_6} = \frac{1}{4} \dots \frac{1}{7}. \quad (3.6)$$

Окончательно значения D_6 и L_6 определяют в результате теплового расчета.

Частоту вращения барабана, мин⁻¹, после определения L_6 уточняют по формуле

$$n = \frac{L_6}{\pi D_6 \sin \alpha}. \quad (3.7)$$

Мощность силовой установки при работе сушильного барабана затрачивается на преодоление следующих сил сопротивления (рисунок 3.20):

- трению качения бандажей по роликам W_6 ;
- трению в цапфах опорных роликов $W_{\text{ц}}$;
- подъему материала внутри барабана $W_{\text{п}}$.

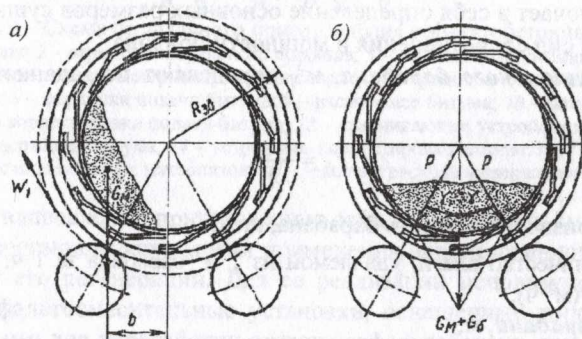


Рисунок 3.20 – Схема сил для расчета сушильного барабана:
а – сопротивление подъему материала при вращении барабана;
б – распределение давления на опорные ролики при неподвижном барабане

Для расчета сил трения качения бандажей по роликам и в цапфах опорных роликов определяют **силу, с которой барабан давит на ролики**, Н,

$$P = \frac{G_M + G_6}{z_p \cos \gamma},$$

где G_M – сила тяжести материала в барабане, Н;

G_6 – сила тяжести барабана, Н;

z_p – число опорных роликов, $z_p = 4$;

γ – угол наклона оси опорного ролика, $\gamma = 30^\circ$.

Сила тяжести материала в барабане, Н,

$$G_M = \beta \rho_m g \frac{\pi D_6 L_6}{4},$$

где β – коэффициент заполнения барабана материалом; $\beta = 0,1 \dots 0,2$;

ρ_m – плотность высушиваемого материала, $\rho_m = 1700$ кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

D_6 и L_6 – диаметр и длина барабана, м.

При применении балансирных опор **сила, с которой барабан давит на ролик**, Н,

$$P_6 = \frac{P}{2 \cos \alpha} = \frac{G_M + G_6}{2 z_p \cos \gamma \cos \alpha}.$$

(2α – центральный угол расположения роликов на балансирной опоре).

Сила сопротивления трению качения бандажей по роликам, Н, приведенная к радиусу ведущего элемента,

$$W_6 = \frac{\kappa_1 (G_M + G_6) (R_{\text{бнд}} + r)}{R_{\text{зв}} r \cos \gamma}, \quad (3.8)$$

где κ_1 – коэффициент трения качения бандажа по ролику, м;

$R_{\text{бнд}}$ – радиус бандажа, м;

r – радиус опорного ролика, м;

$R_{\text{зв}}$ – радиус зубчатого венца барабана, м.

Сила сопротивления трению качения в цапфах опорных роликов, Н, приведенная к радиусу ведущего элемента,

$$W_{\text{ц}} = \frac{\kappa_2 (G_M + G_6) r}{r_o R_{\text{зв}} \cos \gamma}, \quad (3.9)$$

где κ_2 – коэффициент трения качения подшипника опорного ролика, м;

r_o – радиус цапфы опорного ролика, м.

Силу сопротивления подъему материала $W_{\text{п}}$ лопастями вращающегося барабана определяют из условия равенства моментов сил, действующих на барабан при подъеме материала:

откуда

$$M_{\pi} = G_M b = W_{\pi} R_{3B},$$

$$W_{\pi} = \frac{G_M b}{R_{3B}}, \quad (3.10)$$

где M_{π} – момент сил на подъем материала, Н·м;
 G_M – сила тяжести материала в барабане, Н;
 b – плечо силы тяжести материала относительно вертикальной оси барабана, м.

Величина смещения b центра масс материала относительно оси барабана зависит от его режима работы, определяемого частотой вращения барабана (рисунок 3.21).

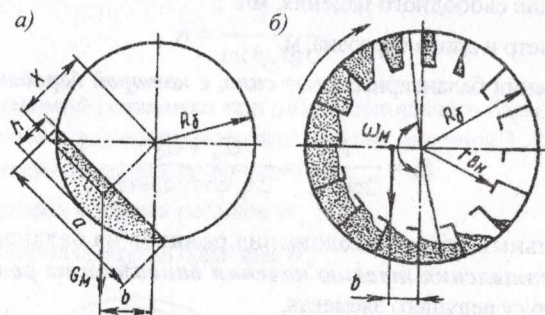


Рисунок 3.21 – Схема определения центра масс материала в медленно (а) и быстро вращающемся (б) барабане

Частоту вращения барабана, мин^{-1} , находят из эмпирической зависимости

$$n = \frac{k_p}{\sqrt{R_6}}, \quad (3.11)$$

где k_p – коэффициент режима работы барабана,

$$k_p = \begin{cases} 8...10 & \text{– для медленно,} \\ 10...14 & \text{– средне,} \\ 14...16 & \text{– быстро вращающегося барабана;} \end{cases}$$

R_6 – внутренний радиус барабана, м.

При медленном вращении поперечное сечение материала в барабане принимают за сплошной сегмент, центр масс которого находится от центра барабана на расстоянии, равном его радиусу R_6 . Плечо b , а также силу тяжести материала определяют из условия, что при медленном вращении барабана сегмент материала повернут относительно вертикальной оси на угол $\beta_M = 45...50^\circ$:

$$b_{MB} = R_6 \sin \beta_M = (0,70...0,77) R_6.$$

При быстром вращении барабана считают, что материал подхватывается полками и распределяется кольцевым сектором с центральным углом сектора $\omega_M \approx 180^\circ$. Внутренний радиус, кольцевого сектора материала, м,

$$r_{BH} = R_6 \sqrt{1 - 2 \frac{\beta_{K_{\text{под}}}}{\beta_c}},$$

где $K_{\text{под}}$ – доля материала, поднимаемого лопастями, от общего количества;

β_c – коэффициент заполнения кольцевого сектора материалом, $\beta_c = 0,80...0,95$.

Плечо силы тяжести материала относительно вертикальной оси барабана при его быстром вращении, м, рассчитывают по формуле

$$b_{GB} = \frac{4}{3\pi} \frac{R_6^3 - r_{BH}^3}{R_6^2 - r_{BH}^2}$$

Окружное усилие на зубчатом венце, Н,

– для медленно вращающегося барабана

$$W_{\pi} = 0,75 G_M \frac{R_6}{R_{3B}}; \quad (3.12)$$

– для быстро вращающегося барабана

$$W_{\pi} = \frac{4 G_M}{3\pi R_{3B}} \frac{30\sqrt{g}}{30\sqrt{g} + 2k_p} \frac{R_6^3 - r_{BH}^3}{R_{3B} - r_{BH}^3}. \quad (3.13)$$

Окружное усилие на приводном валу приравнивают к общей сумме сопротивлений

$$\sum W = W_6 + W_{\pi} + W_{\pi}.$$

Окружная скорость приводного зубчатого венца, м/с,

$$v_{3B} = \pi R_{3B} \frac{n}{30}.$$

Мощность, необходимая для привода сушильного барабана, кВт,

$$N = 10^{-3} \frac{\sum W v_{3B}}{\eta_6}, \quad (3.14)$$

где η_6 – КПД привода барабана.

Расчет смесителя. Расчет лопастных смесителей для приготовления АБ смесей включает в себя расчет массы замеса, определение размеров, кинематических параметров и мощности привода смесителя.

Масса замеса, кг, исходя из заданной производительности, составляет

$$m_3 = 10^{-3} \frac{\Pi t_{\text{ц}}}{3,6 k_{\text{в}}}, \quad (3.15)$$

где $t_{\text{ц}}$ – длительность цикла, с;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования смесителя по времени, $k_{\text{в}} = 0,85$.

Длительность цикла работы смесителя, с,

$$t_{\text{ц}} = t_3 + t_{\text{см}} + t_{\text{р}},$$

где t_3 – время загрузки смесителя; $t_3 = 5$ с;

$t_{\text{см}}$ – длительность смешивания; при поточно-контурном смешивании $t_{\text{см}} = 30$ с;

$t_{\text{р}}$ – время разгрузки, зависящее от конструкции затвора смесителя; $t_{\text{р}} = 5$ с.

Размеры смесителя определяют следующим образом (рисунок 3.22).

Межцентровое расстояние валов смесителя, м,

$$a_w = 2R \cos \varphi, \quad (3.16)$$

где R – радиус корпуса смесителя, м;

φ – угол между горизонтальной прямой и линией, соединяющей ось вала со средней линией кромки днища; принимают $\varphi = 40 \dots 50^\circ$.

В результате межцентровое расстояние валов, м, определяют из выражения

$$a_w = (1,41 \dots 1,53)R. \quad (3.17)$$

Ширина корпуса смесителя, м,

$$b_k = 2R - a_w = (3,41 \dots 3,53)R. \quad (3.18)$$

Его длина, м,

$$l_k = \psi b_k = (3,41 \dots 3,53)\psi R, \quad (3.19)$$

где ψ – коэффициент, характеризующий форму корпуса смесителя,

$$\psi = \frac{l_k}{b_k},$$

$\psi = 0,7 \dots 1,4$ (предпочтительно $\psi = 0,85 \dots 1,0$).

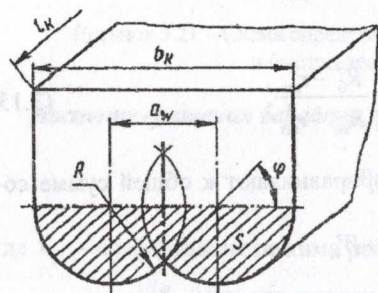


Рисунок 3.22 – Схема для определения размеров смесителя

Площадь поперечного сечения рабочей части корпуса смесителя (ниже уровня осей валов), м^2 ,

$$S = (2,854 \dots 2,933)R^2. \quad (3.20)$$

Масса замеса, кг,

$$m_3 = \beta_1 \rho_{\text{см}} V = \beta_1 \rho_{\text{см}} S l_k, \quad (3.21)$$

где β_1 – коэффициент заполнения корпуса смесителя материалом; $\beta_1 = 1$;

$\rho_{\text{см}}$ – плотность смеси, $\rho_{\text{см}} = 1600 \dots 1700 \text{ кг/м}^3$.

Кроме того, массу замеса можно найти (или проверить) по эмпирической зависимости

$$m_3 \approx 10R^3 \psi \beta_1 \rho_{\text{см}}. \quad (3.22)$$

Радиус корпуса смесителя, м,

$$R = \sqrt[3]{\frac{m_3}{10 \psi \beta_1 \rho_{\text{см}}}}. \quad (3.23)$$

Действительная частота вращения лопастных валов, мин^{-1} ,

$$n_d = (15,3 \dots 16,5) \sqrt{\frac{g}{R}}. \quad (3.24)$$

Фактическая длительность смешивания, с,

$$t_{\text{фсм}} = \frac{60}{n_d} \left[\frac{\lg 0,03 - \lg(1 - i_a)}{\lg(1 - k_{\text{об}})} \right], \quad (3.25)$$

где i_a – относительная концентрация компонента в зоне действия одного из лопастных валов; для неблагоприятного случая $i_a = 0$;

$k_{\text{об}}$ – коэффициент, характеризующий поперечный обмен, $k_{\text{об}} = 0,04 \dots 0,05$.

По фактической длительности смешивания определяют время цикла $t_{\text{ц}}$, массу замеса m_3 , радиус корпуса смесителя R и межцентровое расстояние a_w осей лопастных валов. По межцентровому расстоянию валов выбирают параметры ведущей шестерни редуктора

$$a_w = z m,$$

где z – число зубьев ведущей шестерни редуктора;

m – модуль зацепления, мм.

По параметрам зубчатых колес приводного редуктора уточняют φ , b_k , l_k , S , V и m_3 . Высоту лопастей h и ширину b выбирают исходя из следующих ограничений. Если битум поступает самотеком или разбрызгиванием под неболь-

шим давлением (0,3–0,4 МПа), то принимают $h = 0,5R$, $b = 0,42R$. При подаче битума в смеситель под большим давлением (1,5–2,0 МПа) $h = 0,35R$, $b = 0,57R$.

Длина корпуса смесителя, м, связана с параметрами лопастей и их числом z_n

$$l_k = 2l_1 + b \cos \alpha + (b \cos \alpha + 1)(z_n - 1). \quad (3.26)$$

Число парных (или одиночных) лопастей на одном валу из формулы (3.26)

$$z_n = \frac{l_k - 2l_1 - b \cos \alpha}{b \cos \alpha + l} + 1, \quad (3.27)$$

где l_1 – зазор между крайней лопастью и торцевой стенкой смесителя, $l_1 = 7 \dots 10$ мм;

b – ширина лопасти, мм;

α – угол наклона лопастей к оси вала; $\alpha = 31 \dots 45^\circ$;

l – зазор между боковыми кромками соседних лопастей (по оси вала), $l = 40 \dots 50$ мм.

Если z_n незначительно отличается от целого числа, то изменяют l и b , чтобы получить целое число z_n . Если же расхождение будет большим, то задаются новым значением коэффициента ψ (изменив его на 0,05...0,08) и повторяют расчет.

Качество смешивания оценивается степенью равномерности распределения компонентов в объеме смеси и равномерностью обволакивания зерен минерального материала битумной пленкой. Скорость равномерного распределения компонентов в замесе зависит от угла α установки лопасти к оси вала (для обеспечения высокой скорости циркуляции смеси в продольном и поперечном направлениях) и способа ввода минеральных материалов в смеситель, а также от схемы движения смеси в корпусе смесителя. На практике назначают $\alpha = 45^\circ$.

Лопасты, погружаясь в смесь, сдвигают ее в продольном и поперечном направлениях, разрыхляют и подбрасывают материал смеси вверх. При этом частицы смеси переходят в псевдокипящее состояние, которое характеризуется интенсивным перемешиванием компонентов. Псевдокипящий (псевдооживленный) слой образуется, когда общая высота подбрасывания частиц смеси над уровнем осей валов составляет $h_1 = (1,1 \dots 1,3)R$ (R – радиус лопасти) при высоте падения частиц смеси $h_2 = (1,3 \dots 1,5)R$, а окружная скорость конца лопасти v_n будет не меньше скорости оседания частиц v_{oc} (т. е. $v_n \geq v_{oc}$).

Поскольку $v_n = \omega R$, а $v_{oc} = gt$, то

$$\omega R = gt,$$

где ω – угловая скорость конца лопасти, рад/с;

t – время падения частиц с высоты h_2 , с.

Окружная скорость конца лопасти, м/с,

$$v_n = \omega R = (1,61 \dots 1,73) \sqrt{gR}. \quad (3.28)$$

По этой формуле оценивают частоту вращения валов при смешивании песчаных мелкозернистых смесей; смешивание среднезернистых и крупнозернистых смесей производят при пониженных частотах вращения ($v_n \leq 2,7$ м/с).

Мощность, необходимую для привода лопастных асфальтосмесителей, определяют по методике, которую используют для определения мощности привода бетоносмесителей принудительного действия.

Мощность, необходимую для привода лопастных валов смесительного агрегата, кВт, можно также проверить по эмпирическим формулам в зависимости от массы замеса:

$$N_{пр} = 0,036 Q_m, \text{ если } Q_m < 1400 \text{ кг} \quad (3.29)$$

или

$$N_{пр} = 30 + 0,018 Q_m, \text{ если } Q_m \geq 1400 \text{ кг}, \quad (3.30)$$

где Q_m – масса замеса, кг.

Расчет системы пылеулавливания. Пылеулавливающие системы асфальтосмесительных установок предназначены для очистки дымовых газов, удаляемых из сушильного барабана и других агрегатов, от пыли, ее утилизации и подачи в смесительный агрегат для последующего использования в технологическом процессе в качестве заполнителя. Пыль, уносимая из сушильного барабана, составляет 6–8 % массы высушиваемого песка. При этом концентрация пыли в выбрасываемых газах достигает 300–400 г/м³ при допустимой запыленности 20 мг/м³. Наиболее интенсивно пыль выделяется при работе сушильного барабана, горячего элеватора, грохота, дозаторов и смесителя.

Как было отмечено, схемы пылеулавливания бывают одно- и многоступенчатыми. Первую ступень используют для крупных частиц, вторую и последующие – для мелких.

Расчет систем пылеулавливания предусматривает определение количества очищаемых газов, выбор схемы и подбор числа очистительных аппаратов, определение мощности привода дымососа и размеров дымовой трубы.

Объем дымовых газов и воздуха, который необходимо очищать от пыли, м³/ч,

$$V_{оч} = k_1 V_{дг} + 3600 \sum S_n v_n, \quad (3.31)$$

где k_1 – коэффициент подсоса воздуха через разгрузочную и дымовую коробки, $k_1 = 1,2 \dots 1,3$;

$V_{\text{дг}}$ – объем дымовых газов, удаляемых из сушильного барабана, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 $\sum S_{\text{н}}$ – суммарная площадь смотровых окон и щелей, м^2 ;
 $v_{\text{н}}$ – скорость воздуха, проходящего через неплотности и смотровые окна, м/с ,

$$v_{\text{н}} = k_p \sqrt{2 \frac{p_{\text{рк}}}{\rho_{\text{в}}}},$$

k_p – коэффициент расхода воздуха, $k_p = 0,6 \dots 0,8$;

$p_{\text{рк}}$ – разрежение под кожухами, необходимое для предотвращения утечки воздуха через неплотности, $p_{\text{рк}} = 2 \dots 5 \text{ Па}$;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, $\rho_{\text{в}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$.

Асфальтосмесительные установки оборудуют дымососом-вентилятором из-за большого сопротивления пылеулавливающих аппаратов. Выбор дымососа осуществляют с учетом конструкции пылеулавливающих аппаратов первой и второй ступеней. Дымосос устанавливают перед мокрой (второй) ступенью пылеочистки.

Развиваемое дымососом давление, Па, равное потерям давления в системе движения газа, можно определить по формуле

$$p_{\text{д}} = k_3 (p_f + \sum p_{\text{м}} + p_{\text{вн}} + p_{\text{сб}} + p_{\text{I}} + p_{\text{II}}), \quad (3.32)$$

где k_3 – коэффициент запаса, $k_3 = 1,25 \dots 1,5$;

p_f – потери давления на трение в газоходах, Па;

$\sum p_{\text{м}}$ – суммарные потери давления от местных сопротивлений, Па;

$p_{\text{вн}}$ – внутренние потери давления в дымососе, Па,

$$p_{\text{вн}} = 1,3 p_{\text{вых}},$$

$p_{\text{вых}}$ – потери давления в выходном патрубке дымососа, Па;

$p_{\text{сб}}$ – потери давления в сушильном барабане, Па;

p_{I} , p_{II} – потери давления соответственно на первой и второй ступенях пылеулавливания, Па.

Потери давления на трение в газоходах, Па,

$$p_f = \lambda_{\text{т}} \rho_{\text{дг}} \frac{v_{\text{дг}}^2}{2} \frac{4l}{D},$$

где $\lambda_{\text{т}}$ – коэффициент трения газов, $\lambda_{\text{т}} = 0,01 \dots 0,015$;

$v_{\text{дг}}$ – скорость газов в газоходах, $v_{\text{дг}} = 5 \dots 10 \text{ м/с}$;

l – длина газохода, м;

D – диаметр газохода, м.

Сумма потерь давления от местных сопротивлений, Па,

$$\sum p_{\text{м}} = \sum \xi \rho_{\text{дг}} \frac{v_{\text{дг}}^2}{2},$$

где ξ – коэффициент сопротивления, зависящий от угла α поворота трубы газохода (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Значения коэффициента сопротивления в зависимости от угла поворота трубы газохода

$\alpha, ^\circ$	20	40	45	60	80	90	100	120	160
ξ	0,046	0,139	0,188	0,364	0,740	0,984	1,26	1,84	2,84

Потери давления в выходном патрубке дымососа, Па,

$$p_{\text{вых}} = \rho_{\text{дг}} \frac{v_{\text{дг}}^2}{2}.$$

Потери давления, затрачиваемого на продвижение газов через поток падающих минеральных материалов, в медленно и быстро вращающихся сушильных барабанах $p_{\text{сб}} = 50 \dots 100$ и $p_{\text{сб}} = 100 \dots 150$.

По выбранной конструкции аппаратов первой и второй ступеней пылеулавливания определяют давление $p_{\text{д}}$.

Далее с учетом производительности и давления по каталогам подбирают дымосос и определяют его КПД.

Мощность двигателя, необходимая для работы дымососа, кВт,

$$N_{\text{д}} = 10^{-6} \frac{p_{\text{д}} V_{\text{оч}}}{3,6 \eta_{\text{об}} \eta_{\text{м}}}, \quad (3.33)$$

где $\eta_{\text{об}}$ – объемный КПД дымососа;

$\eta_{\text{м}}$ – КПД механической передачи от двигателя к дымососу.

На асфальтосмесительных установках движение дымовых газов обеспечивается искусственной тягой дымососа из-за большого сопротивления пылеулавливающих аппаратов. Для обеспечения естественной тяги дымовой трубы необходимо определить ее диаметр и высоту.

Диаметр дымовой трубы, м,

$$D_{\text{тр}} = 0,0188 \sqrt{\frac{V_{\text{дг}}}{v_{\text{гг}}}}, \quad (3.34)$$

где $V_{\text{дг}}$ – объем дымовых газов, образующихся при горении топлива, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$v_{\text{гг}}$ – скорость движения газов в дымовой трубе при естественной тяге, $v_{\text{гг}} = 2 \dots 3 \text{ м/с}$.

Дымовая труба должна создавать разрежение Σp , достаточное для преодоления сопротивлений газоходов, $\Sigma p = 15 \dots 20$ Па.

Высота дымовой трубы, м,

$$h_{\text{тр}} = \frac{\Sigma p + \frac{273 \rho_{\text{дг}} v_{\text{гг}}^2}{2 T_{\text{дг}}}}{273 g \left(\frac{\rho_{\text{в}}}{T_{\text{в}}} - \frac{\rho_{\text{дг}}}{T_{\text{дг}}} \right) - \frac{4 f}{D_{\text{тр}}} \cdot \frac{273 \rho_{\text{дг}} v_{\text{гг}}^2}{2 T_{\text{дг}}}}, \quad (3.35)$$

где $\rho_{\text{дг}}$ – плотность дымовых газов, кг/м^3 ,

$$\rho_{\text{дг}} = \frac{\Sigma m_{\text{пс}} m_{\text{т}}}{V_{\text{дг}}},$$

$\Sigma m_{\text{пс}}$ – суммарная масса продуктов сгорания 1 кг топлива, кг;

$m_{\text{т}}$ – расход топлива, кг;

$V_{\text{дг}}$ – объем дымовых газов, образующихся при горении топлива, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$T_{\text{в}}$ – температура воздуха, К;

$T_{\text{дг}}$ – температура дымовых газов, К.

f – коэффициент трения газа в трубе, $f = 0,007 \dots 0,010$;

3.4 Машины для транспортирования битумных материалов

Транспортирование органических вяжущих компонентов АБ смесей производят с помощью автобитумовозов. Автобитумовоз (АБВ) представляет собой транспортное средство на пневмоколесном ходу, предназначенное для транспортирования разогретых вяжущих материалов к месту потребления. Его конструкция обеспечивает забор битумного материала из нагревателей битума и битумохранилищ, поддержание его рабочей температуры при транспортировании без подогрева, подогрев материала до температуры $160\text{--}180^\circ\text{C}$, возможность транспортирования на большие расстояния, перекачивание из цистерны.

АБВ (рисунок 3.23) состоит из автомобильного тягача 1 и полуприцепа-цистерны, шарнирно связанных между собой через седельно-сцепное устройство. Теплоизолированную цистерну снабжают воздушными клапанами, контрольно-измерительной аппаратурой (включая указатель уровня 2 и термометр 4), системой отопления (включая горелку 6) и насосом для закачки и выдачи битума. Внутри цистерны устанавливают перегородки-волнорезы для уменьшения гидроударов при резком торможении машины. К волнорезам прикрепляют жаровые трубы, проходящие по всей длине цистерны. Сверху цистерна имеет заливной люк 5 с откидной крышкой и сетчатыми фильтрами.

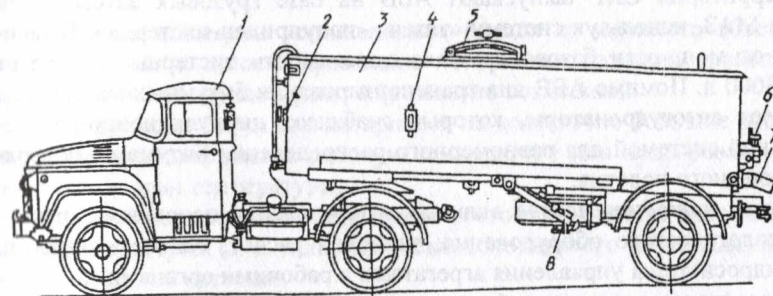


Рисунок 3.23 – Автобитумовоз:

1 – автомобильный тягач; 2 – указатель уровня; 3 – цистерна; 4 – термометр; 5 – люк; 6 – горелка; 7 – сливной трубопровод; 8 – опорное устройство

На рисунке 3.24 представлена типичная принципиальная схема автобитумовоза с системой огневого обогрева. Битумным насосом 19 обеспечивается циркуляция битума в цистерне 2, способствуя равномерному разогреву битума при помощи жаровых труб. Привод битумного насоса осуществляют от коробки отбора мощности тягача или от автономного двигателя.

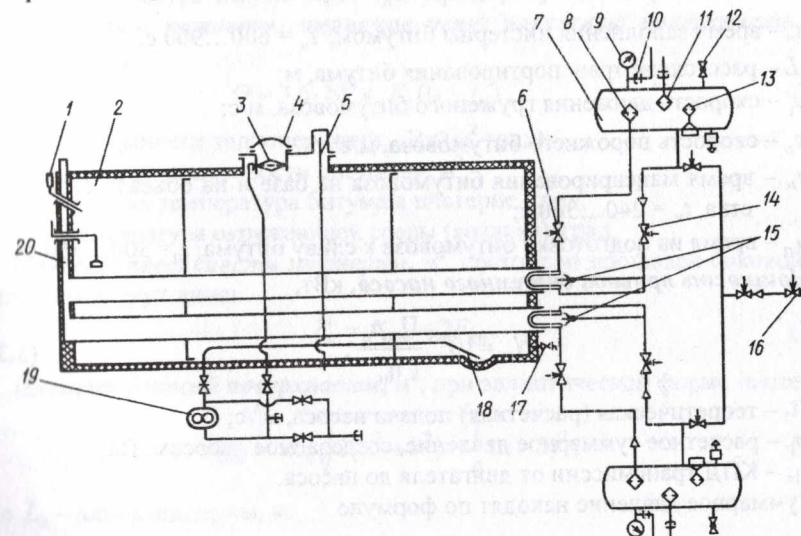


Рисунок 3.24 – Схема автобитумовоза:

1 – термометр; 2 – цистерна; 3 – фильтр заливной горловины цистерны; 4 – заливная горловина; 5 – дыхательная труба; 6, 14 – вентили горелки; 7 – топливный бак; 8, 11 – тканевые фильтры; 9 – манометр; 10 – штуцер подачи воздуха к переносной горелке; 12 – сливной кран; 13 – сетчатый фильтр заливной горловины бака; 15 – горелка; 16 – вентиль отбора воздуха из баллона; 17 – шибер опорожнения цистерны; 18 – заборная труба; 19 – битумный насос; 20 – дымоход

На территории СНГ выпускают АБВ на базе грузовых автомобилей КамАЗ и МАЗ, используя систему «тягач – полуприцеп-цистерна». В зависимости от мощности базового тягача вместимость цистерны составляет 10000–33000 л. Помимо АБВ для транспортирования битумных материалов используют автогудронаторы, которые снабжают циркуляционно-распределительной системой для равномерного распределения битума по поверхности дорожного полотна.

Расчеты автобитумовоза включают определение основных параметров технологического оборудования; тепловой расчет; баланс мощности; расчет гидросистемы управления агрегатами и рабочими органами.

Производительность автобитумовоза, л/ч,

$$\Pi_{\text{ар}} = 3,6 \cdot 10^3 \frac{k_b V_{\text{ц}}}{T}, \quad (3.36)$$

где k_b – коэффициент использования машины по времени, $k_b = 0,85$;

$V_{\text{ц}}$ – полезный объем цистерны, л;

T – продолжительность одного цикла (рейса), с,

$$T = t_n + \frac{L}{v_r} + \frac{L}{v_n} + t_m + t_n, \quad (3.37)$$

t_n – время заполнения цистерны битумом, $t_n = 600 \dots 900$ с;

L – расстояние транспортирования битума, м;

v_r – скорость движения груженого битумовоза, м/с;

v_n – скорость порожнего битумовоза, м/с;

t_m – время маневрирования битумовоза на базе и на объекте строительства, $t_m = 240 \dots 360$ с;

t_n – время на подготовку битумовоза к сливу битума, $t_n = 300 \dots 360$ с.

Мощность привода битумного насоса, кВт,

$$N_n = 10^{-3} \frac{\Pi_T P_p}{\eta_n}, \quad (3.38)$$

где Π_T – теоретическая (расчетная) подача насоса, м³/с;

P_p – расчетное суммарное давление, создаваемое насосом, Па;

η_n – КПД трансмиссии от двигателя до насоса.

Суммарное давление находят по формуле

$$P_p = 1,1 (p_n + \sum p_m + p_{p6}), \quad (3.39)$$

где p_n – потери давления по длине трубопровода, МПа;

$\sum p_m$ – местные потери давления на отводах, кранах, вентилях и др., МПа;

p_{p6} – давление при розливе битума, $p_{p6} = 0,5 \dots 0,6$ МПа.

Габариты цистерны устанавливают исходя из заданного объема. Ширина цистерны не должна превышать поперечных размеров транспортного средства, а ее высоту выбирают минимально возможной.

Для перевозки битумных материалов на достаточно большие расстояния необходимо поддерживать рабочую температуру или подогревать битум в цистерне до этой температуры.

Тепловой расчет автобитумовоза состоит из расчета толщины теплоизоляции цистерны (т. е. толщины стекловолоконного материала) и расчета ее отопительной системы.

При расчете теплоизоляции цистерны количество теплоты, теряемой битумом при остывании, приравнивают к потере теплоты через наружную поверхность цистерны.

Количество теплоты, выделяемое битумом за один час, кДж,

$$Q = m_6 c_6 (t_1 - t_2), \quad (3.40)$$

где m_6 – масса битума, кг;

c_6 – удельная теплоемкость битума, $c_6 = 2,1$ кДж/(кг·град);

t_1 – начальная температура битума, $t_1 = 180$ °С;

t_2 – температура битума через час транспортирования, $t_2 = 170 \dots 175$ °С.

Количество теплоты, теряемое через наружную поверхность цистерны, кДж,

$$Q = 3,6 \cdot 10^3 k_r F_{\text{ц}} (t_6 - t_n), \quad (3.41)$$

где k_r – коэффициент теплопередачи, кВт/(м²·град);

$F_{\text{ц}}$ – площадь поверхности цистерны, м²;

t_6 – средняя температура битума в цистерне, град;

t_n – температура окружающей среды (воздуха), град.

Площадь поверхности цистерны, м², состоит из площадей боковой поверхности и двух днищ:

$$F_{\text{ц}} = F_{\text{бок}} + 2F_{\text{дн}}. \quad (3.42)$$

Площадь боковой поверхности, м², при эллиптической форме цистерны

$$F_{\text{бок}} = \pi L_{\text{ц}} \sqrt{2(a^2 + b^2) - \frac{1}{4}(a - b)^2}, \quad (3.43)$$

где $L_{\text{ц}}$ – длина цистерны, м;

a, b – полуоси эллипса, м.

Площадь днища, м²,

$$F_{\text{дн}} = \pi ab. \quad (3.44)$$

Коэффициент теплопередачи, через трехслойную теплоизоляцию (стальная внутренняя стенка, теплоизоляционный слой и наружный стальной кожух) от битума к воздуху, кВт/(м²·град),

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.45)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от битума к внутренней стенке цистерны, $\alpha_1 = 0,097$ кВт/(м²·град);

α_2 – коэффициент теплоотдачи от кожуха к воздуху, кВт/(м²·град);

δ_1 – толщина стальной стенки цистерны, $\delta_1 = 0 \dots 4$ м;

δ_2 – толщина теплоизоляционного слоя стекловолокнистого материала, м;

δ_3 – толщина стенки наружного стального кожуха, $\delta_3 = 0,001 \dots 0,002$ м;

λ_1 – коэффициент теплопроводности стали, $\lambda_1 = (4,6 \dots 5,8) \cdot 10^{-2}$ кВт/(м·град);

λ_2 – коэффициент теплопроводности стекловолокнистого материала,

$\lambda_2 = 4,4 \cdot 10^{-5}$ кВт/(м·град).

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_2 = 4,24 \cdot 10^{-3} \frac{v_u^{0,805}}{D_u^{0,195}}, \quad (3.46)$$

где v_u – скорость движения машины, $v_u = 4 \dots 5$ м/с;

D_u – средний диаметр цистерны, м.

Толщина теплоизоляционного стекловолокнистого материала

$$\delta_2 = \lambda_2 \left[\frac{3,6 \cdot 10^3 F_u (t_6 - t_n)}{m_6 c_6 (t_1 - t_2)} \frac{1}{\alpha_2} \frac{l_1}{\lambda_1} \frac{l_3}{\lambda_3} \frac{1}{\alpha_2} \right]. \quad (3.47)$$

При расчете отопительной системы автобитумовоза используют методику, которая рассмотрена при расчете автогудронатора.

Контрольные вопросы

- 1 Дайте определения асфальтобетонной смеси и асфальтобетона.
- 2 Назовите основные операции приготовления асфальтобетонных смесей в асфальтосмесителях.
- 3 По каким признакам классифицируют асфальтосмесительные установки?
- 4 Как конструктивные особенности асфальтосмесительных установок партерного и башенного типов влияют на технологические особенности приготовления асфальтобетонных смесей?
- 5 Назовите основные узлы стационарных асфальтосмесительных установок.
- 6 Классифицируйте смесители по основным признакам.
- 7 Для чего предназначен грохот и как он работает?
- 8 Опишите основные направления совершенствования методов приготовления асфальтобетонных смесей.
- 9 Какие машины используют для транспортирования асфальтобетонных смесей и каким требованиям должны отвечать их узлы?

4 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

4.1 Классификация битумных эмульсий

Битумные эмульсии являются современными вяжущими материалами для дорожно-строительных и дорожно-ремонтных работ. Их применение имеет ряд значительных преимуществ по сравнению с традиционными технологиями с использованием битума:

- экономия битума (до 30 %) и щебня (до 45 %) за счет лучшей обволакиваемости минерального материала битумной эмульсией;
- широкий температурный интервал работ (начиная с 0 °С);
- сокращение энергозатрат (до 55 %) по сравнению с горячим асфальтобетоном;
- возможность использования влажных минеральных материалов и проведения работ при неблагоприятных погодных условиях;
- улучшение экологической обстановки на объектах производства работ и подготовки материалов;
- увеличение на 40 % срока службы отремонтированного покрытия.

Эмульсия – это термодинамически неустойчивая система, содержащая две (и более) не смешивающиеся жидкие фазы, из которых одна рассеивается во второй в форме капель с диаметром, превышающим 0,1 мкм.

Эмульсии классифицируют по следующим основным признакам:

- 1) по происхождению – натуральные и искусственные;
- 2) по форме – прямые, обратные и многосложные;
- 3) по размерам частиц – собственно эмульсии (с размером частиц от 1 до 20 мкм) и микроэмульсии (от 0,01 до 0,05 мкм);
- 4) по знаку электрического заряда частиц битума – катионные, анионные и неионные.

Битумные эмульсии относят к прямым эмульсиям, у которых одной жидкой (дисперсной) фазой является битум, а другой (дисперсионной средой), в которой рассеивается битум, – вода.

Битумные эмульсии разделяют на два основных класса: *анионные* и *катионные*. Если при получении эмульсии капли битума адсорбируют анионы (т. е. отрицательные ионы), битумная эмульсия будет *анионной*. Если же капли битума адсорбируют катионы (т. е. положительные ионы), то такая эмульсия будет *катионной* (рисунок 4.1).

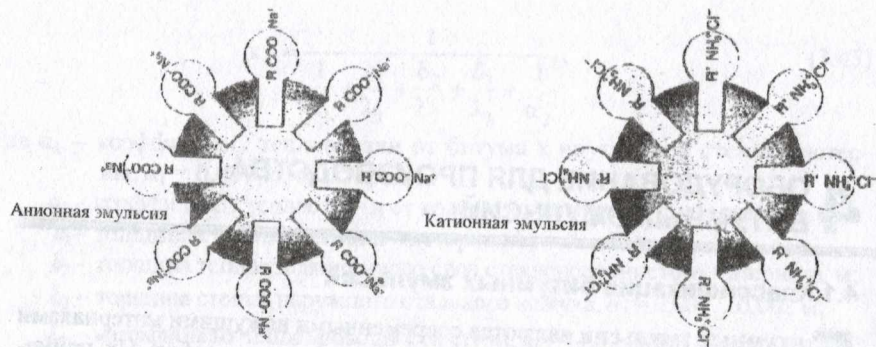
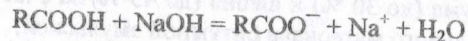


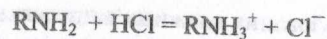
Рисунок 4.1 – Анионная и катионная битумные эмульсии

Анионную эмульсию получают в результате реакции



(нейтральная форма + щелочь → растворимый в воде анионный эмульгатор).

Для получения катионной эмульсии используют реакцию



(нейтральная форма + кислота → растворимый в воде катионный эмульгатор).

Полученные в результате химических реакций анионная и катионная битумные эмульсии по-разному взаимодействуют с минеральными заполнителями в составе асфальтобетонных смесей.

При взаимодействии анионной, т. е. отрицательно заряженной, эмульсии с электроположительным материалом (известняком, базальтом) происходит образование нерастворимого кальция.

При взаимодействии катионной эмульсии с электроотрицательным материалом (кремнием, кварцитом, гранитом) образуется нерастворимый силикат амина.

В отечественном дорожном строительстве используют катионные битумные эмульсии, состав и свойства которых регламентированы стандартом СТБ 1245–2007 «Эмульсии битумные катионные дорожные». В зависимости от типа вяжущего и скорости распада их разделяют на следующие марки:

1) эмульсии на основе битумов нефтяных дорожных вязких (быстро-, средне- и медленнораспадающиеся);

2) эмульсии на основе битумов модифицированных дорожных (быстро- и медленнораспадающиеся);

3) эмульсии модифицированные с применением катионных латексов (быстро- и медленнораспадающиеся).

Условное обозначение эмульсии состоит из ее марки и типа действующего стандарта, например, ЭБмКД-Б-65 – это эмульсия битумная катионная дорожная модифицированная быстрораспадающаяся с содержанием остаточного модифицированного вяжущего в интервале 62,5–67,5 %.

Катионные эмульсии используют в различных технологических процессах строительства и восстановления дорожной одежды, в том числе для устройства защитных слоев асфальто- и цементобетонных покрытий, стабилизации гравийных и грунтовых покрытий, приготовления гравийно-эмульсионных и асфальтобетонных смесей.

4.2 Технологический процесс и оборудование для получения битумных эмульсий

Производство битумной эмульсии показано на технологической схеме, представленной на рисунке 4.2. Для получения битумной эмульсии используют следующие ингредиенты:

- 1) битум;
- 2) разжижитель (уайт-спирит или дизельное топливо);
- 3) эмульгатор (поверхностно-активное вещество класса аминов, образующее оболочку на поверхности битумных частиц и тем самым стабилизирующее эмульсию);
- 4) вода (с минимальным содержанием органических и минеральных примесей);
- 5) кислота соляная (для получения водорастворимых солей эмульгатора);
- 6) модификатор (латекс или др.);
- 7) стабилизатор (хлористый кальций в виде водного раствора 0,05–0,50 мас. %).

В качестве основного компонента (битума) используют различные по природе и свойствам материалы, регламентированные стандартами:

- битумы нефтяные дорожные вязкие по ГОСТ 22245–90;
- битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия по СТБ 1062–97;
- модифицированные битумы по СТБ 1220–2000.

Существует два типа производства битумной эмульсии (эмульгирования): *механическое* и *химическое*. При механическом эмульгировании эмульсию формируют с помощью внешних механических воздействий, при химическом – в результате протекания на межфазной границе химической реакции.



Рисунок 4.2 – Технологическая схема производства битумной эмульсии

На рисунках 4.3 и 4.4 приведены принципиальные схемы установок непрерывного и циклического действия для производства битумной эмульсии путем механического эмульгирования. Их основным узлом является коллоидная мельница. Водную фазу (раствор эмульгатора), битум и модификатор подают насосами в коллоидную мельницу, где и происходит эмульгирование. Раствор эмульгатора содержит воду, эмульгатор, кислоту и стабилизатор. Их

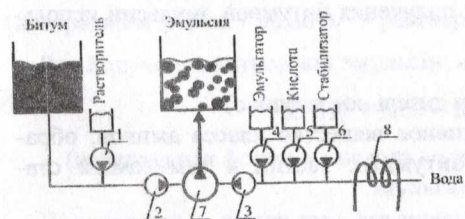


Рисунок 4.3 – Установка для производства битумной эмульсии непрерывного действия:
1-6 – дозирочные насосы; 7 – коллоидная мельница; 8 – нагреватель

тщательно перемешивают, обеспечивая заданную однородность и

требуемый показатель pH. В качестве основы эмульсии используют чистый битум или битум, смешанный с растворителем.

Промышленное производство битумных эмульсий осуществляют на предприятиях, оснащенных специальным оборудованием. В состав эмульсионного завода входят следующие системы и агрегаты:

- диспергирующее устройство (гомогенизатор), снабженное дозирующими устройствами для дисперсной фазы и дисперсионной среды;

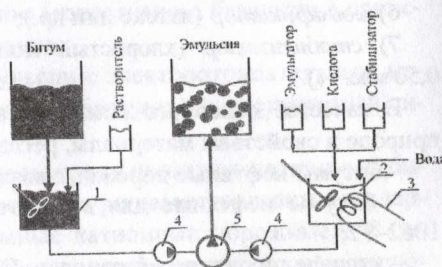


Рисунок 4.4 – Установка для производства битумной эмульсии периодического действия:

1 – битумоплавильный с встроенным смесителем;
2 – агрегат водной фазы; 3 – нагреватель;
4 – дозирочный насос; 5 – коллоидная мельница

- подогреваемые теплоизолированные баки для хранения битума, разжижителя, эмульгаторов, модификаторов, стабилизаторов и конечного продукта, т. е. битумной эмульсии;

- система контроля и управления;

- источник тепла для нагрева теплоносителя (масла или пара), который обеспечивает производство тепловой энергией.

Как уже было отмечено, для производства эмульсии в промышленных масштабах используют *механическое эмульгирование* смеси путем воздействия на исходные компоненты сжатым воздухом или подвижными рабочими органами. В результате внешнего воздействия частицы битума приобретают заданные размеры (их диаметр составляет примерно 1 мкм) и равномерно распределяются в жидкой дисперсионной среде.

Машины с воздействием на среду сжатого воздуха имеют ограниченное применение, поскольку для приготовления эмульсий необходимы высокоактивные эмульгаторы и высококачественные битумы.

Машины с механическим воздействием рабочих органов на исходные компоненты битумной эмульсии классифицируют по следующим основным признакам:

- 1) по режиму работы – циклического и непрерывного действия;
- 2) по направлению перемещения рабочего органа – с возвратно-поступательным (плунжер) и вращательным (лопастной вал и ротор);
- 3) по типу генератора колебаний рабочего органа – с пьезоэлектрическим, акустическим, электромагнитным и жидкоструйным генератором;
- 4) по виду зазора между подвижным и неподвижным элементами рабочего органа – с регулируемым и нерегулируемым зазором;
- 5) по количеству роторов – с одно- и многороторными рабочими органами.

Пьезоэлектрические и электромагнитные генераторы колебаний рабочих органов используют в основном в лабораторных установках. Жидко-струйные генераторы также не получили широкого распространения из-за сложности конструкции и технологии приготовления эмульсии.

Промышленное производство битумных эмульсий в основном осуществляют с помощью коллоидных мельниц различной конструкции. Их основными характеристиками, определяющими качество выпускаемой эмульсии, являются частота вращения ротора и величина регулируемого или постоянного зазора между статором и ротором. В общем виде коллоидная мельница представлена на рисунке 4.5.

В машинах циклического действия используют лопастные смесители, которые также имеют различное конструктивное исполнение. Смеситель может иметь гладкие или рифленые лопасти, вместо лопастей – шнек с винтовой поверхностью.

Технологические установки в зависимости от особенностей конструкции называют по-разному: диспергаторами, гомогенизаторами, дезинтеграторами, турбосмесителями, коллоидными мельницами.

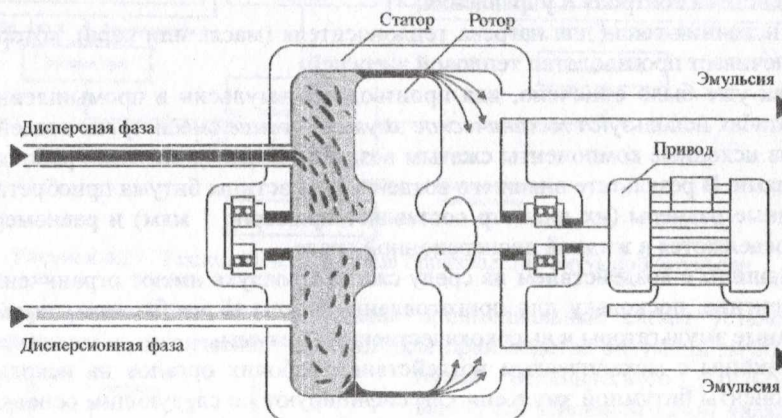


Рисунок 4.5 – Коллоидная мельница

Примером диспергатора циклического действия может служить лопастной смеситель, представленный на рисунке 4.6. Перемешивающее устройство состоит из вертикального лопастного вала 11 и четырех пар вращающихся лопастей 12, установленных под разными углами к оси вращения вала и создающих турбулентное перемешивание жидкости. Кроме вращающихся лопастей на внутренней поверхности обечайки закрепляют четыре неподвижные лопасти 13. Лопастной вал 11 приводит электродвигатель 14 через клиноременную передачу и конический редуктор (с шестернями 5–6).

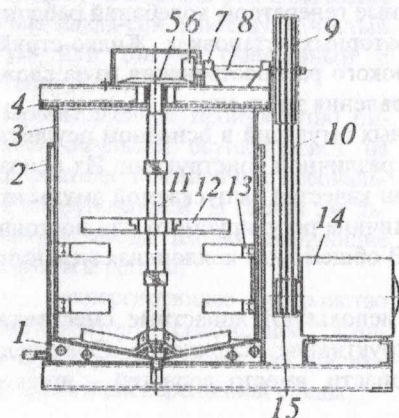


Рисунок 4.6 – Лопастной смеситель:
1 – дно; 2 – рубашка обогрева; 3 – обечайка;
4 – верхняя крышка; 5, 6 – конические шестерни; 7 – опора; 8 – вал; 9, 15 – шкив;
10 – ремни; 11 – лопастной вал;
12 – вращающаяся лопасть;
13 – неподвижная лопасть;
14 – электродвигатель

Технические характеристики лопастного смесителя циклического действия представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Технические характеристики лопастного смесителя

Параметр	Значение
Геометрический объем, м ³	1,5
Продолжительность приготовления одной порции, мин	15–20
Частота вращения лопастей, мин ⁻¹	83,5
Мощность электродвигателя привода, кВт	10
Производительность (при концентрации битума с эмульгатором 65–70 %), м ³ /с (т/ч)	8,4 · 10 ⁻⁴ (3,0)

Для интенсификации перемешивания компонентов и получения более однородных битумных эмульсий на валу лопастного смесителя вместо лопастей устанавливают шнековый элемент, имеющий винтовую поверхность [8].

В технологических установках непрерывного действия вращающимся рабочим органом является, как правило, ротор. Он может иметь цилиндрическую, коническую или дисковую форму, гладкую, ребристую или волнистую рабочую поверхность (сплошного сечения или с отверстиями), вертикальное или горизонтальное расположение вала. Для интенсификации процесса часто используют несколько роторов.

Примером однороторного рабочего органа может служить гомогенизатор ДБ-1 (рисунок 4.7). На горизонтальном валу 5 устанавливают стальной диск (ротор) 2 с конической рабочей поверхностью, прилегающей к конической поверхности корпуса 4 (статора). Зазор между коническими поверхностями регулируют осевым перемещением ротора. Исходные компоненты смеси через канал 1, выполненный в крышке 3, поступают под давлением в зазор между статором и ротором, где и происходит образование эмульсии.

Технические характеристики однодискового гомогенизатора представлены в таблице 4.2.

Совершенствование гомогенизаторов с вращающимся рабочим органом осуществляют установкой нескольких роторов на рабочем валу. В частности, в модели ДБ-1 вместо одного диска устанавливают два конических диска, что позволяет повысить производительность благодаря одновременному прохождению эмульгируемых жидкостей через два зазора.

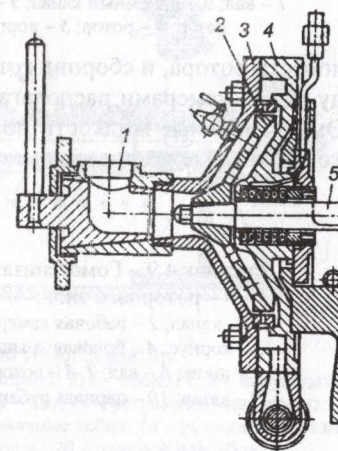


Рисунок 4.7 – Однодисковый роторный гомогенизатор ДБ-1:
1 – канал; 2 – ротор; 3 – крышка;
4 – корпус; 5 – вал

Таблица 4.2 – Технические характеристики однодискового гомогенизатора ДБ-1

Параметр	Значение
Производительность (конструктивная), м ³ /с (т/ч)	$1,4 \cdot 10^{-4}$ (0,5)
Ширина зазора, мм	0,15–1,0
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	3000
Мощность электродвигателя, кВт	28

На рисунке 4.8 приведена схема гомогенизатора со сдвоенным ротором 4, имеющим эллиптическую рабочую поверхность. Изменение рабочего зазора 3 продольным перемещением вала 1 позволяет регулировать давление жидкости, подаваемой через приемный канал 2, что способствует интенсификации процесса эмульгирования.

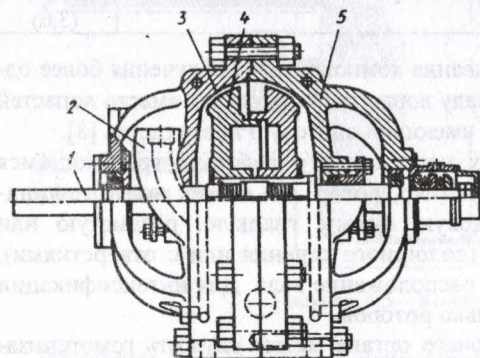


Рисунок 4.8 – Гомогенизатор с эллиптическим ротором:

1 – вал; 2 – приемный канал; 3 – рабочий зазор; 4 – ротор; 5 – корпус

Интенсификацию эмульгирования обеспечивает наличие двух роторов. Например, в двухроторном гомогенизаторе (рисунок 4.9) в корпусе 3 одинаковые роторы 7 и 8 устанавливают на общем валу 6 с ведущим шкивом 5. Внутренняя поверхность корпуса имеет две камеры – рабочую 2, в которой находятся

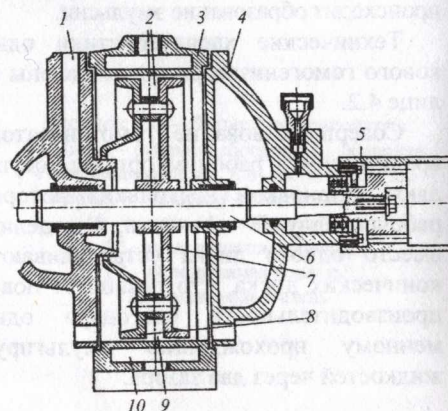


Рисунок 4.9 – Гомогенизатор роторного типа:

1 – канал; 2 – рабочая камера; 3 – корпус; 4 – боковая крышка; 5 – шкив; 6 – вал; 7, 8 – роторы; 9 – зазор; 10 – паровая рубашка

Технические характеристики двухроторного гомогенизатора приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Технические характеристики двухроторного гомогенизатора

Параметр	Значение
Производительность (конструктивная), м ³ /с (т/ч)	$5,5 \cdot 10^{-4}$ (2,0)
Диаметр роторов, мм	410
Минимальная ширина зазора, мм	0,05
Частота вращения роторов, мин ⁻¹	2920
Мощность электродвигателя привода, кВт	22
Масса, кг	260

Как уже было отмечено, одним из эффективных путей повышения производительности и качества битумной эмульсии является увеличение числа роторов. В качестве примера трехроторной машины на рисунке 4.10 показана схема трехступенчатого гомогенизатора. Его снабжают тремя дисками 5 и 6, установленными на валу 10, на каждом из которых – по шесть нагнетательных лопаток 25. Ширину рабочего зазора между дисками 5, 6 и распорными кольцами 23 изменяют регулировочным механизмом, который включает элементы 13–19. Ротор приводит во вращение электродвигатель (мощностью 7 кВт) через клиноременную передачу 12. Эмульгируемые жидкости по приемному патрубку 2 поступают в устройство и проходят три ступени эмульгирования. Производительность такого гомогенизатора составляет около 3 т/ч.

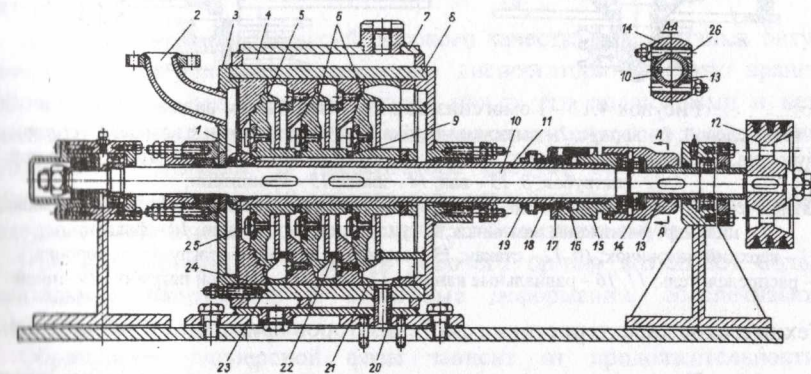


Рисунок 4.10 – Трехступенчатый гомогенизатор:

1 – шпонка; 2 – приемный патрубок; 3 – крышка; 4 – корпус; 5, 6 – диски; 7, 8 – наружный и внутренний цилиндры; 9, 23 – распорные кольца; 10 – вал; 11 – регулировочная втулка; 12 – шкив; 13 – распорная втулка; 14, 15 – регулировочные гайки; 16 – установочная гайка; 17 – стопорная гайка; 18 – кольцо; 19 – указатель; 20 – сливной патрубок; 21, 24 – рабочие кольца; 22 – перегородка; 25 – нагнетательная лопатка; 26 – болт

У приведенных гомогенизаторов рабочие элементы расположены горизонтально. Помимо этого, имеются конструкции с вертикальным расположением роторов.

На рисунке 4.11 представлены трех- и пятищелевой гомогенизаторы с вертикальной осью вращения. Каждый из них имеет корпус, статор, ротор и привод с электродвигателем. Нагретые исходные материалы поступают в загрузочную воронку и далее – в приемную камеру. В камере они предварительно перебиваются лопастями и затем через верхние выточки и отверстия статора поступают в рабочие зазоры, где интенсивно измельчаются и эмульгируются. Рабочие зазоры регулируются вертикальным перемещением ротора.

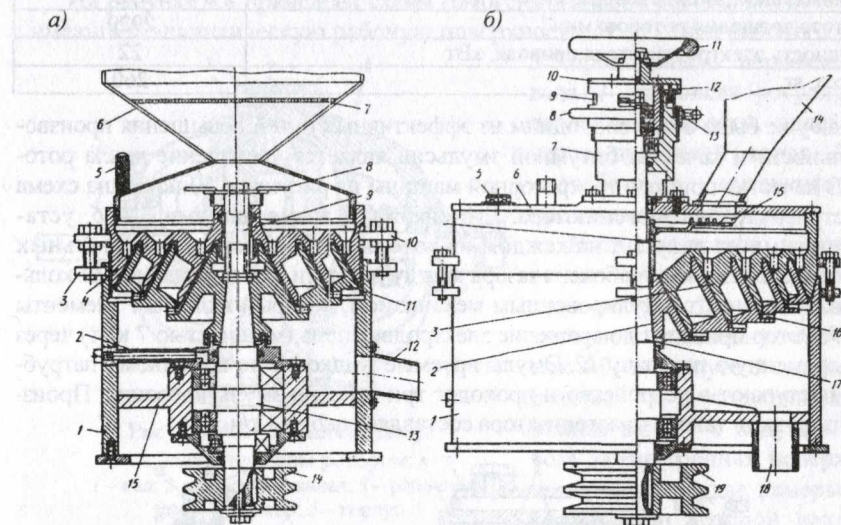


Рисунок 4.11 – Гомогенизатор с вертикальным валом:

- а – трехщелевой: 1 – корпус; 2 – смазочная трубка; 3, 10 – установочные кольца; 4 – статор; 5 – рукоятка; 6 – загрузочная воронка; 7 – сетка; 8 – распределитель; 9 – держатель; 11 – ротор; 12 – патрубок; 13 – вал; 14 – шкив; 15 – кронштейн;
- б – пятищелевой: 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – статор; 4 – приемная камера; 5 – пробка; 6 – крышка; 7 – цилиндр; 9 – нижний маховичок; 9 – уплотнительное кольцо; 10 – фланец; 11 – верхний маховичок; 10, 12 – стакан; 13 – стопорная гайка; 14 – загрузочная воронка; 15 – распределитель; 11, 16 – радиальные каналы; 17 – вал; 18 – сливной патрубок; 19 – шкив

Технические характеристики гомогенизаторов приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Технические характеристики гомогенизаторов с вертикальным расположением роторов

Параметр	Трехщелевой	Пятищелевой
Производительность, м ³ /с	4,7 · 10 ⁻⁴	(8,4–11,2) · 10 ⁻⁴
Наибольший диаметр ротора, мм	200	350
Минимальный зазор, мм	0,1	0,1
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	2200	1500
Мощность электродвигателя, кВт	1,7	4
Масса (без электродвигателя), кг	50	75

Несмотря на широкий спектр разнообразных диспергирующих устройств (гомогенизаторов, дезинтеграторов, турбосмесителей и т. п.), ведущие производители оборудования для изготовления битумных эмульсий используют в основном однороторные коллоидные мельницы с постоянным или регулируемым зазором между статором и ротором. Битумная эмульсия, полученная в таких установках, имеет наиболее стабильные и высокие показатели основных параметров, регламентированных требованиями нормативных документов.

На отечественном рынке представлены установки с коллоидными мельницами для производства битумных эмульсий ряда ведущих зарубежных фирм, в их числе немецкая «Breining (Fayat Group)», французские «Rinchevale (Fayat Group)» и «Emulbitume», шведская «Akzo Nobel», итальянская «Massenza», финская «Kalottikone», а также российские компании. В зависимости от комплектации их производительность составляет от 3 до 50 т/ч. В Беларуси подобные установки выпускают несколько компаний, например, минская «БелТЕН» производит установки непрерывного действия Катин-10 с комбинированной системой дозирования компонентов производительностью 10–12 т/ч; «Еврокомдормаш» (г. Минск) выпускает установки BiEM непрерывного действия производительностью от 3 до 12 т/ч с комбинированной системой дозирования компонентов и полуавтоматической системой управления.

Более детальный анализ различных конструкций установок по производству битумных эмульсий представлен в учебном пособии [8] и других материалах.

Для приготовления эмульсий высокого качества из различных битумов необходимо регулировать параметры диспергатора (частоту вращения рабочего органа или величину зазора между его подвижными и неподвижными частями) для изменения интенсивности силового воздействия на компоненты эмульсии. В диспергаторе следует обеспечить получение эмульсии (по возможности) одноразовым воздействием рабочим органом на исходные компоненты, что способствует стабилизации эмульсии.

При воздействии на жидкость рабочего органа возникают большие касательные напряжения и сдвиговые деформации, обеспечивающие диспергирование материала.

Образование дисперсной фазы зависит от продолжительности T силового воздействия рабочего органа на жидкость.

Если $T \gg \tau$, где τ – средняя продолжительность свободного теплового перемещения молекул в жидкости, то дисперсная фаза не образуется.

Если $T < \tau$, происходит образование дисперсной фазы. Соответственно, следует подбирать такой режим работы диспергатора, чтобы соблюдалось последнее неравенство.

Однородность эмульсии во многом зависит от размеров частиц битума и равномерности их распределения. Кроме того, на нее влияет конструкция

диспергатора. Для повышения однородности битумной эмульсии рабочий орган должен обеспечивать одинаковое силовое воздействие на весь поток жидкости, проходящей через диспергатор. С этой целью при конструировании форму рабочей поверхности ротора и статора стремятся приблизить к цилиндрической и снабдить продольными рифлениями, чтобы силовое воздействие на поток жидкости было практически одинаковым по всей поверхности ротора и статора.

При механическом воздействии некоторые жидкие компоненты, предназначенные для приготовления битумных эмульсий, при взаимодействии с воздухом могут проявлять склонность к пенообразованию. Для устранения или снижения этого эффекта в диспергаторе должно быть исключено свободное попадание воздуха в зону воздействия рабочего органа на жидкую среду.

В расчетах диспергатора принимают следующие допущения. Во-первых, форму ротора и статора принимают цилиндрической со средним диаметром

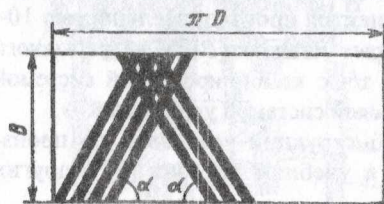


Рисунок 4.12 – Поверхности ротора и статора

D и высотой B (рисунок 4.12). Во-вторых, в роторе и статоре под углом α к основанию выполняют пазы рифлений, которые располагают относительно друг друга под углом $(180 - 2\alpha)$. В-третьих, ширину пазов δ и перемычек между ними считают одинаковой.

Значение угла α определяют по формуле

$$\arctg \frac{2\delta}{\pi D} \leq \alpha \leq \arctg \frac{B}{2\delta}. \quad (4.1)$$

Минимальное значение угла α соответствует условию обеспечения заданной ширины паза и перемычки, максимальное – условию обеспечения постоянства суммарной площади S отверстий при любом угле поворота ротора относительно статора.

При расчете режимов работы диспергатора полагают, что в любом элементарном объеме жидкость содержит заданное количество битума.

Объемный расход эмульсии, проходящий через одно отверстие,

$$V_1 = V \frac{S_1}{S} = \frac{4V\delta^2}{\pi DB \sin 2\alpha}, \quad (4.2)$$

где V – объемный расход эмульсии через все отверстия.

Объем битума, проходящего через отверстие,

$$K\Delta V = KV_1\Delta t = \frac{4V\delta^2 K}{\pi^2 D^2 n \sin 2\alpha}, \quad (4.3)$$

где K – объемная доля битума в эмульсии;

ΔV – объем эмульсии, проходящей через отверстие.

Площадь поперечного сечения и диаметр нити определяют по формулам

$$S' = \frac{K\Delta V \sin \alpha}{B} = \frac{4KV\delta^2}{\pi^2 D^2 B n \sin \alpha}, \quad (4.4)$$

$$d' = \sqrt{\frac{4S'}{\pi}} = \frac{4\delta}{\pi D} \sqrt{\frac{KV}{B n \sin \alpha}}. \quad (4.5)$$

Максимальный диаметр битумных капель

$$d = \sqrt[3]{\frac{6\Delta V}{\pi}} = 1,2 \frac{\delta}{D} \sqrt{\frac{KV}{B \sin \alpha}}. \quad (4.6)$$

Частота вращения ротора для достижения заданной дисперсности эмульсии

$$n = 1,44 \frac{KV\delta^2}{D^2 B \sin \alpha}. \quad (4.7)$$

Если по условиям изготовления нарезка на рабочем органе наклонных пазов не представляется возможной, то принимают следующие допущения: во-первых, величину угла принимают $\alpha = \pi/2$; во-вторых, нарезают пазы параллельно оси вращения ротора и статора; в-третьих, выполняют различное число прорезей на роторе и статоре для снижения пульсаций давления. При $\alpha = \pi/2$ диаметр капель битума d и частоту вращения ротора n рассчитывают по формулам (4.6) и (4.7).

Контрольные вопросы

- 1 Классифицируйте эмульсии по основным признакам.
- 2 Что такое битумная эмульсия?
- 3 В чем состоят достоинства битумных эмульсий?
- 4 Какие ингредиенты используют для получения битумной эмульсии?
- 5 Какие системы и агрегаты входят в состав завода по производству битумных эмульсий?
- 6 Классифицируйте по основным признакам машины с механическим воздействием рабочих органов на исходные компоненты битумной эмульсии.

5 МАШИНЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Дорожные покрытия являются составной частью дорожной одежды автомобилей дорог, которая воспринимает нагрузку от транспортных средств и передает ее на земляное полотно. В зависимости от требований, предъявляемых к покрытию, дорожные одежды принято условно разделять на капитальные, облегченные, переходные и низшие. Характеристики дорожных одежд в основном зависят от технико-эксплуатационных показателей покрытий. При этом дороги обычно называют по наименованию материала верхнего слоя дорожной одежды – асфальтобетонные и цементобетонные.

Современная дорожная одежда асфальтобетонных дорог является сложной инженерной конструкцией, состоящей из ряда слоев дорожно-строительных материалов, имеющих различное назначение и разные физико-механические свойства (рисунок 5.1).

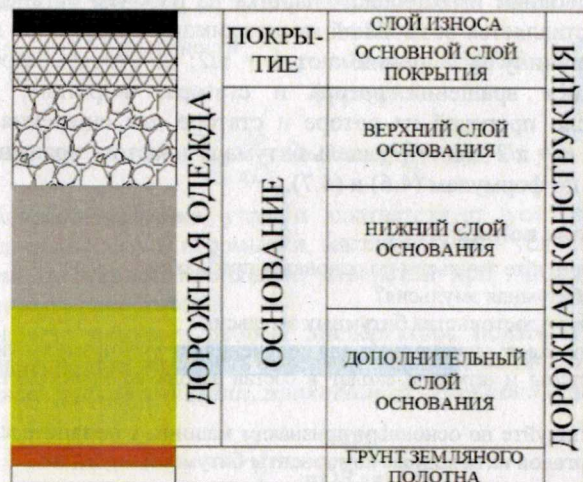


Рисунок 5.1 – Конструкция дорожной одежды с АБ покрытием

Покрытие – это верхняя часть дорожной одежды, состоящая из одного или нескольких слоев, непосредственно воспринимающая усилия от колес транспортных средств и подвергающаяся износу и прямому воздействию

атмосферных факторов. Самым прочным является верхний рабочий слой покрытия (слой износа), который контактирует с колесами транспортных средств и должен иметь высокие показатели износостойкости, ровности и водонепроницаемости.

Верхний и нижний слои основания – это наиболее прочная несущая часть дорожной одежды, воспринимающая основные нагрузки от транспортных средств. Нижний слой позволяет снизить толщину верхнего (более дорогостоящего) слоя.

Дополнительный слой основания – это слой между несущими слоями основания и подстилающим грунтом, обеспечивающий морозоустойчивость и дренирование конструкции. В зависимости от назначения дополнительный слой имеет морозозащитные, теплоизолирующие и дренирующие свойства.

Основанием дорожной одежды служит рабочий слой земляного полотна (подстилающий грунт) – верхняя часть полотна в пределах от нижнего слоя дорожной одежды до уровня, соответствующего 2/3 глубины промерзания конструкции, но не менее 1,5 м, считая от поверхности покрытия.

5.1 Особенности технологических процессов

Ведущее место на автомобильных дорогах Беларуси занимают асфальтобетонные дорожные покрытия, которые применяют в конструкциях дорожных одежд нежесткого типа с высокими технико-эксплуатационными показателями. Их износ не должен превышать 1,0–1,6 мм/год даже при тяжелом и интенсивном движении.

Дорожная одежда является наиболее важной частью автомобильной дороги. Затраты на ее устройство достигают 60–70 % от общей стоимости строительства дороги, а состояние дорожной одежды во многом определяет транспортно-эксплуатационные свойства дороги.

Строительство (устройство) дорожной одежды включает следующие мероприятия:

- строительство земляного полотна;
- строительство основания;
- строительство покрытий.

Строительство земляного полотна – это комплекс земляных работ по подготовке, планировке и уплотнению земляного полотна. В зоне строящейся автомобильной дороги выполняют следующие операции:

- 1) очистку полосы отвода (для строительства дороги) от кустарника, камней и растительного грунта – с помощью машин для подготовительных работ (кусторезов, рыхлителей, корчевателей);
- 2) планировку поверхности земляного полотна (с предварительным возведением насыпи или устройством корыта) – с помощью землеройно-транспортных машин (бульдозеров, скреперов, автогрейдеров);

3) уплотнение поверхности земляного полотна – с помощью машин для уплотнения грунта (катков с фигурными и гладкими вальцами).

Строительство основания – это комплекс работ по устройству нижних слоев дорожной одежды. К ним относятся:

- 1) планировка верха дорожного полотна – с помощью автогрейдеров;
- 2) распределение дорожно-строительных материалов по поверхности полотна – с помощью распределителей (для щебня и гравия), а также с помощью бульдозеров и автогрейдеров (для песчано-гравийных смесей);
- 3) уплотнение материалов – с помощью катков с гладкими вальцами.

Основание может состоять из нескольких слоев. Каждый из них необходимо спланировать, распределить по нему дорожно-строительный материал и уплотнить, после чего произвести заключительную планировку.

Строительство покрытий является завершающим этапом строительства дорожной одежды. Асфальтобетонные (АБ) покрытия устраивают на автомобильных дорогах I–IV категорий, на улицах и аэродромах. Асфальтобетонные покрытия формируют из горячих, теплых и холодных асфальтобетонных смесей. Они могут быть одно- и многослойными. Требования к асфальтобетонным смесям и асфальтобетонам на их основе регламентированы стандартом СТБ 1033–96 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон».

Традиционный технологический процесс устройства АБ покрытий из горячих и теплых смесей включает следующие операции:

- 1) *подготовку основания*:
 - очистку основания от пыли и грязи – с помощью поливочно-моечных машин;
 - механическую очистку сухого основания – с помощью подметально-уборочных машин;
 - обработку сухого основания битумной эмульсией или жидким битумом – при помощи автогудронаторов;
- 2) *транспортирование горячей АБ смеси для нижнего слоя* – с использованием автосамосвалов;
- 3) *укладку и уплотнение смеси* – с помощью асфальтоукладчиков (АУ) и катков с гладкими вальцами;
- 4) *транспортирование смеси для верхнего слоя*;
- 5) *укладку и уплотнение смеси в верхнем слое*;
- 6) *отделочные работы* (исправление отдельных дефектов, выравнивание кромок обрубкой, подсыпка и укрепление обочин).

Подготовительные операции должны обеспечить прочное сцепление покрытия с основанием, что является одним из важных условий достижения заданной долговечности покрытий.

Транспортирование смеси к месту работы осуществляют самосвалами (после обязательной проверки на заводе качества и температуры смеси).

Температура смеси при укладке должна быть: для горячих – не менее 120 °С, для теплых – не менее 70–110 °С, для холодных – температура воздуха, но не ниже 10 °С.

Укладку смеси на сухое основание осуществляют с помощью АУ. Для качественной укладки покрытия без образования нежелательных продольных швов используют два и более АУ или один АУ, если его ширина равна ширине обрабатываемого участка дороги. Если ширина дороги больше ширины АУ, укладку ведут на смежных полосах двумя (и более) машинами так, чтобы расстояние между ними по длине дороги составляло не менее 10–30 м. Если работает один АУ, ширина которого меньше ширины дороги, то укладку осуществляют поочередно на каждой полосе участками, длина которых зависит от атмосферных условий. При остывании кромки уложенного слоя ее предварительно подогревают линейными обогревателями инфракрасного излучения для обеспечения прочности сцепления на границе смежных участков смеси.

После укладки смеси производят ее уплотнение. Как правило, уплотнительная техника (гладковальцовые катки) следует за АУ на расстоянии 8–10 м. Для уплотнения смеси в зависимости от ее структуры и состава используют катки статического действия с металлическими вальцами; вибрационные катки и катки на пневматических шинах. Укатку начинают легкими катками от края полосы к ее середине с перекрытием следа на 20–30 см. Число проходов зависит от типа смеси, вязкости битума и толщины слоя, а также от типа катка. В состав уплотняющего звена входят один легкий и два-три тяжелых катка на каждый АУ. Рабочая скорость зависит от стадии уплотнения и типа катка. На начальной стадии скорость не должна превышать 2 км/ч, затем она постепенно увеличивается, достигая 3–5 км/ч для статических и 5–8 км/ч для пневмоколесных катков.

Традиционную технологию устройства АБ покрытий развивают и дополняют в различных направлениях.

Одним из них является *непрерывная технология укладки АБ смеси* с использованием перегружателя или другой специализированной машины, как промежуточного звена. Наличие промежуточного звена между самосвалом и асфальтоукладчиком, во-первых, исключает ударное воздействие самосвала на АУ при контакте и, во-вторых, устраняет температурную и фракционную сегрегацию (расслоение) смеси, возникающую при ее транспортировании в самосвалах. В результате существенно повышается качество АБ покрытия и сводится к минимуму риск возникновения преждевременных разрушений и деформаций дорожной одежды. Срок службы АБ покрытия, получаемого с использованием перегружателя, оказывается в полтора-два раза выше – только за счет устранения температурной и фракционной сегрегации. Непрерывную технологию называют также скоростной, поскольку скорость перемещения асфальтоукладочного комплекса превосходит в несколько раз скорость АУ в традиционном варианте.

Другое направление включает технологию укладки АБ смеси под названием «компакт-асфальт» (*compactasphalt*). Ее осуществляют асфальтоукладочным комплексом за один проход путем одновременной укладки верхнего и нижнего (выравнивающего) слоев покрытия из различных типов АБ смеси. Этот метод устройства дорожных покрытий, когда верхний слой АБ покрытия укладывают на не остывший нижний слой, называют также технологией «горячее по горячему». Двухслойное асфальтобетонное покрытие, устраиваемое по технологии «компакт-асфальт», объединяет в монолитном слое две различные по составу, структуре и физико-механическим свойствам АБ смеси. Сохранение высокой температуры и подвижности обеих смесей обеспечивает их взаимопроникновение, в результате чего значительно повышается прочность сцепления между слоями и, как следствие, долговечность покрытий.

Таким образом, для того, чтобы реализовать различные технологические процессы строительства асфальтобетонных покрытий (как традиционный, так и модернизированные), в общем случае необходимо использовать следующие машины:

- автогудронатор для подгрунтовки (распределения битума или битумной эмульсии) для обеспечения прочного сцепления слоев основания и покрытия;
- автосамосвал с классической или донной разгрузкой смеси (в зависимости от технологии формирования покрытий);
- перегружатель и подборщик для создания или увеличения запаса асфальтобетонной смеси между транспортными средствами и асфальтоукладчиком и обеспечения непрерывной работы асфальтоукладчика при различных темпах укладки;
- асфальтоукладчик для укладки (распределения и предварительного уплотнения) асфальтобетонных смесей;
- самоходный каток с гладкими вальцами для уплотнения асфальтобетонных смесей.

Еще одним эффективным направлением развития строительства и ремонта асфальтобетонных покрытий является использование технологий горячего и холодного рециклинга.

5.2 Асфальтоукладчики

Асфальтоукладчики – это машины непрерывного действия, предназначенные для равномерного распределения асфальтобетонных или черных смесей по дорожному основанию.

Самоходный АУ состоит из двух основных частей: *тягача*, обеспечивающего передвижение АУ, прием в бункер и распределение по дорожному основанию АБ смеси, и *рабочих органов* в виде выравнивающих и уплотняющих механизмов, связанных шарнирно с тягачом.

АУ классифицируют по следующим основным признакам:

- 1) *по принципу перемещения* – самоходные и прицепные машины, а также навесные приспособления;
- 2) *по ходовому оборудованию* – гусеничные, пневмоколесные и комбинированные;
- 3) *по способу передвижения* – прицепные, полуприцепные и самоходные;
- 4) *по производительности, т/ч*:

– легкие –	массой до 6 т	производительностью до 25;
– средние –	» 6–10 т	» 25–150;
– тяжелые –	» 10–15 т	» 150–300;
– сверхтяжелые –	» более 15 т	» более 300;
- 5) *по типоразмеру* их разделяют на группы в зависимости от ширины полосы (и толщины слоя) укладки, мм,

I – 3000 × 100;
II – 5000 × 200;
III – 8000 × 300;
IV – 12000 × 300;
V – 16000 × 300;
- 6) *по типу приемного устройства* – бункерные (с активной и пассивной подачей смеси к рабочим органам) и безбункерные;
- 7) *по характеру воздействия* на АБ смесь – с уплотняющим рабочим органом и без него;
- 8) *по степени уплотнения* АБ смеси – с предварительным и с высоким уплотнением;
- 9) *по степени автоматизации* – полуавтоматические и автоматизированные.

Силовыми установками самоходных АУ являются серийно выпускаемые четырех- и шестицилиндровые дизельные двигатели. Повышенный запас их мощности позволяет регулировать рабочие и транспортные скорости АУ, а также совмещать многие рабочие и вспомогательные операции. Управление работой современных дизельных двигателей в основном автоматизировано. Это позволяет с максимальной эффективностью использовать мощность двигателей за счет согласованной работы независимых агрегатов и распределения мощности с учетом реальной нагрузки на агрегаты.

На рисунке 5.2 представлен самоходный АУ на гусеничном ходу, который имеет в качестве уплотняющего органа только выравнивающую плиту, что позволяет реализовывать как традиционную технологию укладки АБ покрытий, так и непрерывное (скоростное) устройство покрытий.

Прицепные и навесные АУ и приспособления (с использованием тягового или толкающего усилия автосамосвала или его веса) применяют в основном для ремонтных работ.

Ходовые системы асфальтоукладчиков имеют свои особенности.

Гусеничные АУ обладают такими достоинствами, как малая чувствительность к неровностям дорожного основания, небольшое давление на опорную поверхность и значительные тяговые усилия. Гусеничный ход предпочитают использовать при укладке холодных и крупнозернистых смесей, а также на АУ большой производительности, занятых на крупных объектах или в пересеченной местности. Гусеничные движители обеспечивают хорошую устойчивость и высокую точность укладки смеси независимо от дорожных условий, в том числе на подъемах и склонах. Однако у них низкая транспортная скорость (до 5 км/ч), что затрудняет их перемещение с объекта на объект.

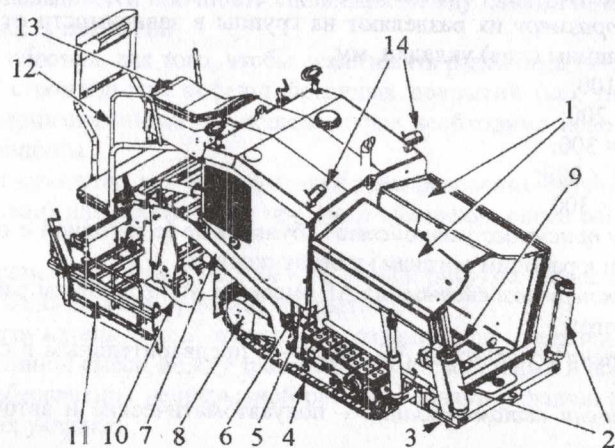


Рисунок 5.2 – Самоходный асфальтоукладчик на гусеничном ходу:

1 – бункер с откидными стенками; 2 – отбойные ролики для приема автосамосвала; 3 – трубка-держатель; 4 – гусеница; 5 – нивелировочный гидроцилиндр толщины укладки; 6 – индикатор толщины укладки; 7 – поперечина; 8 – привод хода; 9 – скребковый конвейер-питатель; 10 – распределительный шнек; 11 – выглаживающая плита; 12 – платформа оператора; 13 – пульт оператора; 14 – рабочая фара

На рисунке 5.3 представлена конструктивная схема АУ с гусеничным ходовым оборудованием. Все механизмы и агрегаты установлены на нижней 11 и верхней 5 рамах, которые представляют собой цельносварные металлоконструкции, соединенные стойками. Нижняя рама 11 шарнирно связана с двумя гусеничными тележками; на ней установлено рабочее оборудование, в том числе бункер 10, скребковые питатели 20, распределительные шнеки 15, трамбуемый брус 14 и выглаживающая плита 13. Как правило, выглаживающая плита является второй опорой машины (первая – гусеницы). На верхней раме 5 расположены силовая установка 19, трансмиссия 17, гидросистема 9, пульты управления 3, 6 и другие агрегаты.

Металлические гусеничные траки имеют, как правило, гладкую поверхность. В ряде случаев траки покрывают упругим материалом, например, резиновыми или полимерными плитами (башмаками, подушками) или же используют резиновые гусеницы. Эти мероприятия существенно снижают износ элементов ходовой системы и уменьшают риск повреждения покрытий. Подавляющее большинство АУ имеет двухгусеничную ходовую систему, однако имеются модели тяжелых АУ с четырьмя ведущими гусеницами.

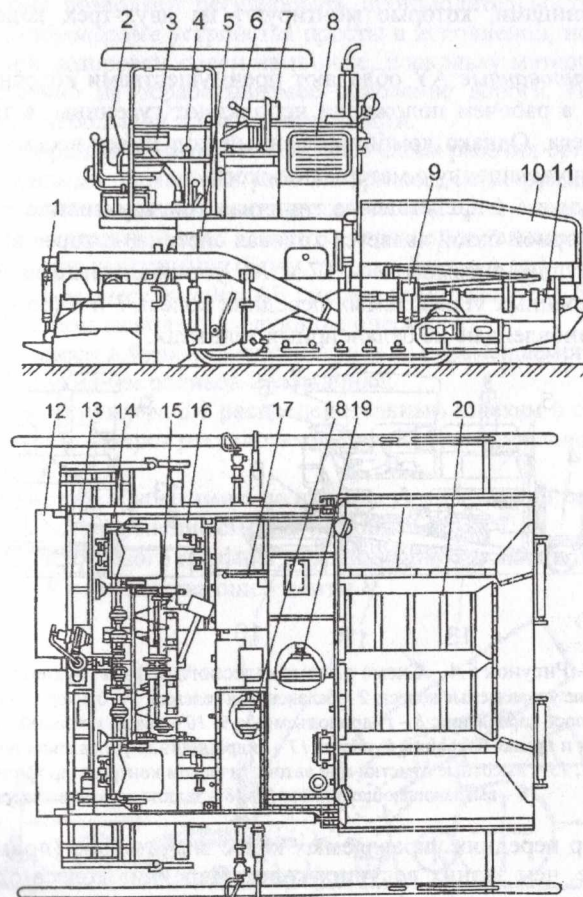


Рисунок 5.3 – Схема гусеничного асфальтоукладчика:

1 – гидродъемник рабочих органов; 2 – сиденье; 3 – поворотный пульт; 4 – система управления; 5 – верхняя рама; 6 – пульт управления; 7 – электрооборудование; 8 – капот; 9 – гидросистема; 10 – бункер; 11 – нижняя рама; 12 – ступенька; 13 – выглаживающая плита; 14 – трамбуемый брус; 15 – распределительный шнек; 16 – настил; 17 – коробка передач; 18 – гидромуфта; 19 – двигатель; 20 – скребковый конвейер-питатель

Пневмоколесные АУ имеют высокую транспортабельность, но чувствительны к неровностям основания. Колесные движители более пригодны для АУ малой и средней производительности, которые эксплуатируются в городских условиях при частом перебазировании с объекта на объект. Их транспортная скорость составляет 20 км/ч и более. При этом рабочие скорости у колесных и гусеничных машин примерно одинаковы. Нередко для работы на слабых грунтах тяжелые пневмоколесные АУ снабжают резиновыми гусеницами, которые монтируют на двух-трех колесах с каждой стороны.

Комбинированные АУ обладают преимуществами колесного и гусеничного хода: в рабочем положении используют гусеницы, в транспортном – пневмоколеса. Однако комбинированный ход имеет весьма сложную конструкцию и увеличенную материалоемкость.

На рисунке 5.4 представлена типичная конструктивная схема колесного АУ. Его опорной базой является ходовая система, которая включает четыре задних ведущих пневмоколеса 17 и 18, установленные на двух мостах, и четыре сдвоенных управляемых передних колеса 1 и 4 (со сплошными шинами), установленные на балансирах тележках.

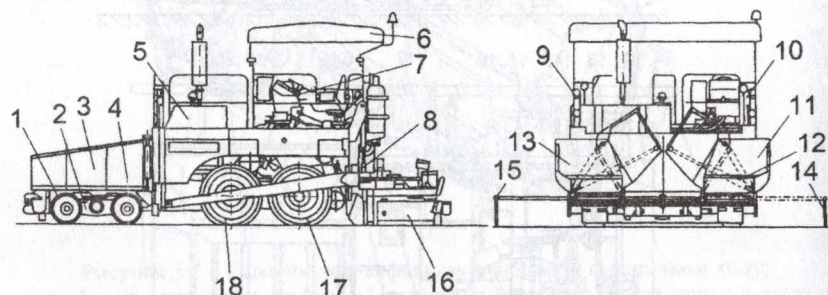


Рисунок 5.4 – Схема пневмоколесного асфальтоукладчика:

1, 4 – передние управляемые колеса; 2 – балансирующая тележка; 3 – бункер; 5 – силовая установка; 6 – тент; 7 – пост управления; 8 – гидроподъемник; 9, 10 – левый и правый пульта управления; 11, 13 – левая и правая боковины бункера; 12 – гидроцилиндр управления положением боковин; 14, 15 – высотные отметки при автоматическом контроле профиля покрытия; 16 – выглаживающая плита; 17, 18 – задние ведущие колеса

Диаметр передних управляемых колес значительно (примерно в два раза) меньше, чем задних ведущих колес. Передние колеса одного борта закреплены на концах балансирующей тележки 2, середина которой шарнирно соединена с рамой машины, что обеспечивает равномерное распределение давления на передние колеса. Дизельный двигатель приводит ходовую систему через регулируемый гидронасос, гидромотор, механическую коробку перемены передач и цепную передачу. Рабочее оборудование включает бункер 3 для смеси с управляемыми боковыми стенками 11, 13 и скребко-

вым питателем, а также винтовые распределительные шнеки, трамбуемый вибробрус и выглаживающую плиту 16. Основные рабочие органы имеют гидравлический привод. АУ снабжают системой автоматического контроля количества укладываемой смеси в шнековой камере.

Как было отмечено, имеются **бункерные** и **безбункерные АУ**. Бункерные АУ могут быть с активной и пассивной подачей АБ смеси к рабочим органам. Активную подачу материала осуществляют с помощью транспортеропитателей, которые позволяют регулировать производительность в широком диапазоне. **Безбункерные** устройства просты в исполнении, но не могут обеспечить точной дозировки смеси на полосу, поскольку материал поступает непосредственно на обрабатываемое основание дороги. Их обычно используют на АУ небольшой производительности.

На рисунке 5.5 представлена принципиальная схема рабочих органов самоходного АУ. Основными элементами рабочих органов, формирующих покрытие, являются *распределительный шнек, уплотняющий брус, выглаживающая плита*, а также отражательный щит, элементы управления толщиной и профилем покрытия, несущие конструкции (рамы, тяговые брусья и др.).

Технологический процесс укладки АБ смеси с помощью АУ с бункерным приемным устройством включает следующие операции:

- приемку АБ смеси в бункер 3 из самосвала 1, перемещаемого при разгрузке толкающим усилием роликов 2 укладчика;
- подачу смеси из бункера 3 к распределительным шнекам 6 с помощью скребкового питателя 4 через регулируемую щель 5 между заслонкой 11 и питателем 4;
- распределение смеси шнеками 6 по ширине укладываемой полосы;
- разравнивание и уплотнение смеси с помощью бруса 7;
- формирование заданного профиля и толщины покрытия с помощью регулятора толщины 9 и выглаживающей плиты 8.

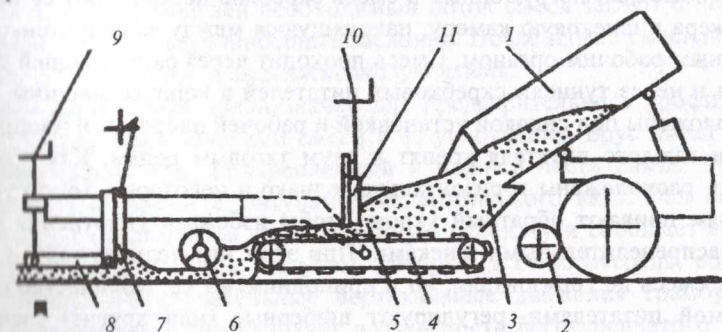


Рисунок 5.5 – Принципиальная схема рабочих органов АУ:

1 – самосвал; 2 – толкающий ролик; 3 – приемный бункер; 4 – скребковый питатель; 5 – регулируемая разгрузочная щель; 6 – шнековый распределитель; 7 – трамбуемый брус; 8 – выглаживающая плита; 9, 10 – регулировочные винты; 11 – заслонка

Смесь поступает из автосамосвала 1 в бункер 3. Далее с помощью скребкового питателя 4 она через регулируемую щель 5 попадает на шнек 6, распределяющий массу смеси равномерно по всей ширине дорожного полотна. Управление размерами щели производят с помощью шиберных или секторных заслонок 11. Размер щели обуславливает дозу смеси и толщину слоя материала на питателе. После этого смесь частично или полностью уплотняют трамбуемым брусом 7 и выравнивают выглаживающей плитой 8. Для получения заданного поперечного профиля (плоского горизонтального, одно- или двухскатного) выглаживающая плита по длине разделена на две части, соединенные внизу шарниром, а сверху – винтовой стяжкой.

Окончательное уплотнение смеси производят самоходными катками с гладкими вальцами.

Бункер АУ предназначен для приема смеси из кузова автосамосвала и обеспечения непрерывной работы АУ с заданной производительностью. Во избежание его повреждений при контакте с автосамосвалом он снабжен упорной поворотной балкой (в виде металлического бруса), шарнирно закрепленной на раме АУ. К балке спереди крепят предохранительные упорные ролики, расположенные по осям задних колес автосамосвала, с помощью которых АУ толкает перед собой разгружающийся самосвал. Бункер имеет две боковые, переднюю и заднюю стенки, а также днище. Боковые стенки являются складывающимися с гидроцилиндрами управления их положением, что обеспечивает изменение вместимости бункера и облегчает его очистку.

На дне бункера располагают *два скребковых конвейера-питателя*, которые с помощью погруженных в смесь скребков перемещают ее по днищу бункера в шнековую камеру, находящуюся между задней стенкой АУ и навесным рабочим органом. Смесь проходит через окна в задней стенке бункера и через туннели скребковых питателей в корпусе машины, которые проложены под силовой установкой и рабочей площадкой машиниста. Скребки каждого питателя крепят к двум тяговым цепям. Как правило, питатели расположены горизонтально, однако в некоторых конструкциях питателям придают обратный уклон, чтобы избежать уплотнения смеси перед распределительными шнеками. При этом питатели не только перемещают смесь по горизонтали, но и приподнимают ее. Количество смеси, выносимой питателями, регулируют шиберные (или другие) заслонки, которые изменяют высоту зазоров в задней стенке бункера. Однако в большинстве современных АУ количество смеси регулируют за счет изменения скорости питателей.

Рабочие органы конструктивно разделены на две одинаковые части, шарнирно связанные между собой. Такая система позволяет изменять взаимное расположение этих частей, устанавливая требуемый профиль. Рабочие органы имеют плавающую подвеску и с помощью тяговых брусьев шарнирно прикреплены к раме АУ.

Распределительный шнек состоит из двух секций с левой и правой навивками, которые имеют независимый привод каждой секции. Их общая длина соответствует ширине укладываемой полосы. На большинстве АУ устанавливают общий привод секции (левой или правой) шнека и соответствующей (левой или правой) секции конвейера-питателя. Каждый такой привод состоит из регулируемого поршневого насоса, гидромотора, редуктора и цепной передачи. При этом подачу питателей и распределительных шнеков можно регулировать как вручную, так и автоматически с помощью специальной системы регулирования. В автоматическом режиме фактические величины подачи питателей и шнеков определяют размещенными над ними двумя лопастными щупами, которые выполняют роль датчиков. Любое изменение их положения преобразуется потенциометрами в импульс управления работой питателей и шнеков. По сигналам датчиков с помощью гидроцилиндров, работающих в автоматическом режиме, производят подъем-опускание шиберных заслонок, что соответственно увеличивает или уменьшает подачу смеси конвейерами-питателями в зону рабочих органов.

В современных конструкциях для повышения точности оценки запаса смеси его измеряют с помощью ультразвуковых датчиков. Для обеспечения равномерного распределения смеси высоту установки шнеков регулируют с помощью гидроцилиндров в зависимости от толщины укладываемого слоя. В ряде моделей необходимый поток смеси задают с помощью питателей, не используя шиберные заслонки. После шнека смесь попадает под уплотняющий брус и выглаживающую плиту.

Трамбующий брус предназначен для предварительного профилирования слоя уложенной шнеками смеси и ее уплотнения. Брус имеет раму и профилирующий нож, прикрепленный к нижней части рамы. Эта рама соединена шарнирами с шатунами эксцентрикового вала. Вал получает вращение от гидромотора через ременную передачу и сообщает его с заданным эксцентриситетом шатунам, которые, в свою очередь, обеспечивают возвратно-поступательные вертикальные движения трамбуемому бруссу. Гидропривод обеспечивает возможность бесступенчатого регулирования частоты колебаний трамбуемого бруса. Конструктивно брус состоит из двух шарнирно связанных половин, каждая из которых снабжена отражательным щитом. Щит служит для перемещения призмы волочения

смеси, находящейся перед рабочим органом, а также для предохранения бруса от налипания смеси (его располагают под углом к направлению движения).

Выглаживающая плита также состоит из двух шарнирно-сочлененных половин с механизмом регулирования поперечного профиля и толщины покрытия, которые образуют жесткую конструкцию. Плита имеет раму, к которой снизу крепят подошву плиты. Подошва имеет гладкую поверхность и обеспечивает выглаживание верхнего слоя укладываемой смеси. К раме на консоли крепят настил, по которому перемещается обслуживающий персонал. Большинство моделей АУ оборудованы системой подогрева плиты и трамбующих брусьев. Для этих целей используют электронагрев или нагрев от сжигания сжиженного газа или жидкого топлива. Плиту располагают перпендикулярно направлению движения под некоторым углом атаки, чтобы задняя кромка плиты находилась ниже передней. Давление плиты на смесь составляет 0,1–0,2 МПа, его вполне достаточно для создания необходимого профиля покрытия (плоского горизонтального, односкатного или двухскатного). По характеру работы плиты различают системы с плитами статического и вибрационного воздействия.

В современных АУ применяют систему рабочих органов брус – плита двух типов: предварительного и высокого уплотнения.

Система предварительного уплотнения состоит из одного бруса и одной плиты. По взаимному расположению бруса и плиты различают *разделенные* и *неразделенные системы* (в современных АУ используют разделенные).

Система высокого уплотнения включает агрегаты предварительного и дополнительного уплотнения, содержащие несколько уплотняющих брусьев и выглаживающих плит. По характеру колебаний различают *качающиеся брусья* (колеблются в горизонтальной плоскости в направлении, перпендикулярном направлению движения АУ) и *трамбующие брусья* (колеблются в вертикальной плоскости), которые получили наибольшее распространение.

Агрегат предварительного уплотнения состоит из *трамбующего бруса* и *виброплиты*. Брус трамбует смесь с помощью эксцентрикового привода с фиксированной амплитудой (4 или 8 мм) и частотой колебаний, которая регулируется бесступенчато до 1800 ударов в минуту. **Выглаживающая виброплита** колеблется также в вертикальной плоскости (с частотой 68 Гц и амплитудой колебаний в интервале от 0 до 5 мм) посредством импульсного гидравлического привода.

Агрегат дополнительного уплотнения представляет собой два трамбующих бруса и вторую выглаживающую виброплиту. Первый трамбующий брус обеспечивает уплотнение покрытия под давлением от 5 до 15 МПа. Второй брус усиливает и стабилизирует достигнутый эффект уплотнения. Давление прессования брусьев реализуют с помощью гидроцилиндров, обеспечивающих импульсное давление на покрытие с частотой от 35 до 70 Гц (посредством изменения частоты вращения вала гидромотора). Агрегат дополнительного уплотнения увеличивает плотность слоя на 8–9 %, что равнозначно четырехкратному проходу катка массой 4 т.

Окончательное выглаживание поверхности покрытия производят с помощью второй виброплиты, которая имеет меньшую площадь поверхности и меньший вес, чем первая виброплита. Плита «плавает» на уплотненном покрытии. Изменение толщины покрытия осуществляют путем изменения угла наклона к горизонту трамбующего бруса и первой виброплиты.

На рисунке 5.6 показан рабочий орган высокого уплотнения, который включает трамбующий брус предварительного уплотнения 4, основной трамбующий брус 5, а также выглаживающую виброплиту 8.

Как видно из рисунка 5.6, трамбующий брус имеет сменный нож (из износостойкой стали), нижняя кромка которого имеет специальный профиль, позволяющий лучше уплотнять укладываемую смесь. АУ с оборудованием высокого уплотнения может эксплуатироваться (в зависимости от решаемых задач) как в режиме предварительного уплотнения, так и в режиме высокого уплотнения.

Управление положением и работой основных рабочих органов осуществляют с помощью гидравлической системы. Гидросистема служит для привода вибраторов уплотняющих рабочих органов, управления гидромуфтами и гидроцилиндрами подъема боковых стенок бункера, а также для управления гидроцилиндрами автоматики.

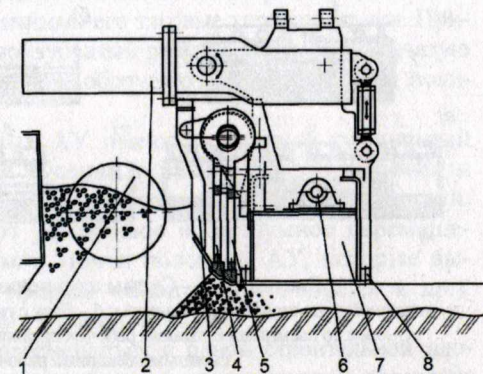


Рисунок 5.6 – Схема блока рабочих органов высокого уплотнения:

- 1 – распределительный шнек; 2 – боковой несущий рычаг; 3 – выравнивающий щит;
- 4 – трамбующий брус предварительного уплотнения; 5 – основной трамбующий брус; 6 – вибратор;
- 7 – кожух обогревателя выглаживающей плиты;
- 8 – выглаживающая плита

Большинство современных АУ имеют распределительную и уплотняющую системы переменной ширины. Как правило, АУ оснащают набором сменных рабочих органов, который включает рабочее оборудование стандартной ширины (рисунок 5.7, а), телескопические раздвижные уширители с гидроприводом (рисунок 5.7, б), а также приставные, механически присоединяемые (модульные) уширители (рисунок 5.7, в). В зависимости от типоразмера машины они позволяют укладывать слои АБ покрытия шириной от 0,5 до 16 м. Стандартные рабочие органы применяют в основном для устройства магистралей и городских улиц, где требуются высокая точность профиля и равномерное уплотнение АБ смеси по всей ширине полосы. Их рабочую ширину можно увеличивать различными способами:

- 1) *дискретно, т. е. ступенчато* – с помощью приставных съемных уширителей 5 и 6 (см. рисунок 5.7, в);
- 2) *бесступенчато* – с помощью раздвижных телескопических уширителей 4 (см. рисунок 5.7, б);
- 3) совместным использованием приставных и раздвижных уширителей (см. рисунок 5.7, г).

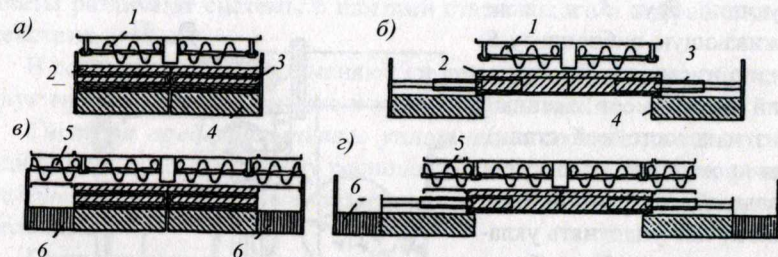


Рисунок 5.7 – Схемы изменения ширины укладки:

а – основной блок стандартной ширины; б – блок с гидравлическими уширителями брусев;
 в – блок со съемными секциями рабочих органов; г – блок с гидроуширителями и съемными секциями рабочих органов;

1 – основной распределительный шнек; 2 – основной трамбующий брус; 3 – гидроцилиндр телескопического выдвижения секции трамбующего бруса; 4 – выдвижная секция трамбующего бруса;
 5 – съемная секция распределительного шнека; 6 – съемная секция трамбующего бруса

При необходимости ступенчатого увеличения ширины обрабатываемой полосы дорожного основания на рабочие органы (распределительные шнеки, брусья и др.) наращивают дополнительные (приставные) съемные секции, которые болтами прикрепляют к основным секциям.

Бесступенчатое увеличение ширины с помощью телескопических раздвижных рабочих органов позволяет проводить переналадку по ширине без остановки процесса укладки при формировании дорожного покрытия с изменяющейся шириной. Кроме того, телескопические уширители обеспечивают более высокое качество укладки смеси по сравнению с

приставными уширителями. Механизм выдвижения бруса или плиты имеет гидравлический привод и состоит из двухступенчатой выдвижной телескопической трубы с устройством для ее фиксации от поворота. Более предпочтительным является также использование телескопических распределительных шнеков с гидравлическим приводом их выдвижения.

В таблице 5.1 представлены сведения о параметрах гусеничных АУ ряда ведущих европейских и американских фирм.

Американские асфальтоукладчики по сравнению с европейскими имеют большие рабочую скорость и производительность, но меньшую ширину укладки и вместимость бункера, а также менее мощные двигатели. Сравнивая режимы работы уплотняющих органов, можно отметить и другие различия. Практически все европейские асфальтоукладчики оснащают трамбующими брусом (с частотой вибрации до 20–30 Гц), которые отсутствуют у американских машин из-за большой скорости укладки.

Ходовая система современных АУ гидрофицирована.

Гусеничные АУ имеют гидропривод хода, который включает регулируемые аксиально-поршневые насосы для питания двух аксиально-поршневых регулируемых (как правило, двухскоростных) гидромоторов – по одному на каждую гусеницу. Раздельный привод гусениц обеспечивает высокую маневренность АУ и позволяет поддерживать постоянными его тяговые характеристики. Привод включает гидронасос, гидромотор, зубчатый редуктор и двухступенчатую планетарную передачу. Гусеничные ленты оборудуют резиновыми или полимерными башмаками (плитами).

Значительная часть выпускаемых АУ имеют резиновый гусеничный ход из-за преимуществ резиновых гусениц в транспортной скорости и затратах на обслуживание по сравнению с традиционными гусеницами. Резиновые гусеницы обеспечивают устойчивое и бесшумное перемещение АУ со скоростью до 10–11 км/ч. Почти половину АУ, которые выпускают ведущие производители (фирмы «Caterpillar», «Vögele» и др.), представляют машины с резиновыми гусеницами.

Пневмоколесные АУ способны перемещаться с одной строительной площадки на другую самостоятельно, не прибегая к дорогостоящей перевозке трейлерами. Им разрешено передвигаться по дорогам общественного пользования, на которых они могут развивать скорость до 20 км/ч. Привод хода включает регулируемый поршневой насос, поршневой гидромотор, механически управляемую коробку переключения передач и ведущий мост. В свою очередь, вращение на ведущие колеса с моста передают цепные передачи. В зависимости от типоразмера пневмоколесные АУ могут иметь двух-, трех- или четырехосное шасси с полным или неполным приводом.

Удлинение колесной базы, применение качающейся подвески направляющих колес, а также использование полноприводных ходовых систем обеспечивает высокое качество укладки колесными АУ, не уступающее гусеничным машинам.

Таблица 5.1 – Основные характеристики гусеничных асфальтоукладчиков

Фирма-изготовитель	Технические и технологические параметры						Режим работы уплотнителей	
	Модель	Ширина, м	Скорость, м/мин	Вместимость бункера, т	Производительность, т/ч	Мощность двигателя, кВт	Частота уларов трамбующего бруса, Гц	Частота вибрации плиты, Гц
Vogele (Германия)	Super1800	2,5–12,5	18,0	13,0	600	121	21	80,0
	Super2500	3,0–16,0	18,0	17,5	900	209	29	60,0
ABG (Германия)	Titan 324	2,5–8,5	18,0	13,5	600	106	27	65,0
	Titan 511	2,0–12,5	16,0	15,0	1250	167	25	85,0
Дупарас (Швеция)	F 121 C	2,5–7,0	20,0	13,0	600	94	–	–
	F 181 CS	2,5–12,5	20,0	12,3	900	161	–	–
Caterpillar (США)	AP-650B	1,83–6,10	67,0	10,0	1300	70	*	0,58
	AP-1050B	2,44–9,14	65,6	11	2177	130	*	0,58
Champion (США)	1110W	3,05–7,77	49,0	11,0	–	128	*	36,7
Roadtec (США)	RP-185	2,40–7,32	55,0	10,9	800	115	*	30,0
	RP-235	3,05–8,13	76,2	12,0	900	174	*	30,0

* Американские асфальтоукладчики не имеют трамбующего бруса.

Например, система полного привода АУ фирмы «Volvo» включает антипробуксовочное устройство с функцией изменения крутящего момента для привода передних колес в зависимости от нагрузки, дифференциал заднего моста с электронным управлением, систему гидроцилиндров для регулирования положения обеих пар передних колес по высоте. При этом конструкция привода хода обеспечивает три рабочих режима: укладки, транспортировки и маневрирования, которые соответствуют реальным условиям эксплуатации.

В заднеприводных машинах необходимое тяговое усилие обеспечивается за счет задних (на одной или двух осях) приводных колес большого диаметра. В некоторых случаях на сверхтяжелых АУ устанавливают (вместо заднего моста) на задней оси мотор-колеса с индивидуальным приводом на каждое колесо, который включает ступичный двухступенчатый планетарный редуктор.

В переднеприводных машинах привод выполняют либо на колеса одной оси, либо на колеса всех передних осей. Иногда для увеличения тяги устанавливают передние мотор-колеса.

Особенности различных типов ходовой системы влияют на габариты рабочих органов. Устойчивость и повышенные тяговые характеристики гусеничной ходовой системы позволяют увеличить ширину рабочих органов тяжелых и сверхтяжелых АУ до 16 м. Для колесных АУ высокое качество уложенной смеси достигается при меньших размерах уширителей.

В таблице 5.2 представлены технические характеристики колесных АУ ряда ведущих производителей дорожной техники. Рабочие органы (предварительного уплотнения) включают вибробрус и виброплиту с гидроприводом управления колебаниями. АУ оборудуют, как правило, гидрообъемной ходовой трансмиссией, которая обеспечивает бесступенчатое регулирование скорости и реверсирование движения АУ в рабочем и транспортном режимах. Электрогидравлический сервопривод позволяет после вынужденных кратковременных остановок возобновить движение с заданной скоростью без вмешательства машиниста.

Ходовое устройство, как правило, состоит из двух задних мостов с четырьмя ведущими пневмоколесами, а также четырех сдвоенных гидравлически управляемых передних колес со сплошными шинами.

Система управления современных АУ включает гидросистему, состоящую из ряда независимых контуров. Дизельный двигатель через муфту сцепления и редуктор приводит несколько гидронасосов, питающих рабочей жидкостью гидромоторы ряда механизмов.

Во-первых, привод хода, который включает реверсивный регулируемый гидронасос, гидромотор и механические передачи.

Во-вторых, приводы скребковых конвейеров-питателей и распределительных шнеков, которые включают реверсивные регулируемые гидронасосы, гидромоторы, редукторы и цепные передачи, приводящие питатели и шнеки левой и правой сторон АУ (независимо друг от друга).

В-третьих, приводы трамбующих брусьев и вибраторов, а также приводы выравнивающих плит.

Таблица 5.2 – Технические характеристики колесных асфальтоукладчиков

Фирма-изготовитель	Модель	П, т/ч	$H_{\max}$, мм	W , кВт	$v_{\text{раб}}$ (м/мин)/ $v_{\text{тр}}$ (км/ч)	V , т	Ширина укладки, м	m , т
Dynapac AB, Швеция	Dynapac F6W	250	270	50	32,0/18,0	10,0	1,5/4,1	8,4
	Dynapac F161W	650	300	145	26,7/16,5	12,5	2,0/7,0	18,0
Joseph Voegelé AG, Германия	Vogele Super 1103-2	200	200	56	30,0/20,0	10,0	1,6/4,2	8,6
	Vogele Super 1603-2	600	300	100	18,0/20,0	13,0	2,6/7,0	17,0
Volvo CE Int. AB, Швеция	Volvo P5770C	500	300	122	40,0/20,0	12,0	2,5/7,5	12,8
	Volvo P6870C	700	300	122	40,0/20,0	12,0	2,5/9,0	13,1
	АСФ-К-2-04	350	250	78	25,0/18,0	10,0	2,5/4,5	14,5
	АСФ-К-3-02	500	250	116	20,0/18,0	10,0	2,5/6,5	16,5
Terex Corporation, США	Terex CR-352	600	305	121	110,0/–	8,2	2,4/5,5	14,5
	Terex CR-452 Remix	800	305	151	66,0/–	12,7	3,1/7,3	17,5
Caterpillar, США	Caterpillar AP-300	–	–	52	85,0/15,0	–	1,7/4,0	7,3
	Caterpillar AP-600	–	–	129	60,0/15,0	–	2,5/7,9	17,8
Bomag, Германия	Bomag BF 331 HE	180	250	45	129,0/15,0	4,8	1,7/3,8	7,6
	Bomag BF 600 HCG/HCE	600	300	118	43,0/16,0	7,1	2,5/6,8	15,5

Примечание – П – производительность; $H_{\max}$ – максимальная толщина слоя; W – мощность; $v_{\text{раб}}$ и $v_{\text{тр}}$ – рабочая и транспортная скорости АУ; V – вместимость бункера; m – эксплуатационная масса АУ.

В-четвертых, приводы рулевого управления и управления положением элементов бункера и рабочих органов, которые включают гидронасосы и гидроцилиндры.

В современных АУ имеется до десяти независимых контуров. Управление агрегатами и рабочими органами машины осуществляют с центральной панели управления, на которой все элементы и индикаторы систематизированы по функциональным блокам. С ее помощью управляют основными функциями укладки и рабочими характеристиками машины. Кроме того, на панели устанавливают дисплей, на который выводят основную параметрическую информацию и данные о работе силовой установки и рабочих органов АУ.

В качестве примера на рисунке 5.8 представлен вариант упрощенной схемы гидросистемы асфальтоукладчика. Ее условно можно разделить на две подсистемы: гидросистему привода трамбующего бруса и гидросистему управления рабочим и ходовым оборудованием. Гидросистема привода трамбующего бруса включает насос Н2, гидромотор М1, предохранительный клапан КП1 и распределитель Р5. Гидросистема управления включает гидроцилиндры Ц1 и Ц2 подъема-опускания рабочего органа, гидроцилиндры Ц3 и Ц4 боковин бункера, гидроцилиндры Ц5 и Ц6 системы автоматизации «Стабилослой», гидромолоты МФ1 и МФ2 привода питателей и шнеков, а также гидромолоты МФ3 и МФ4 привода хода.

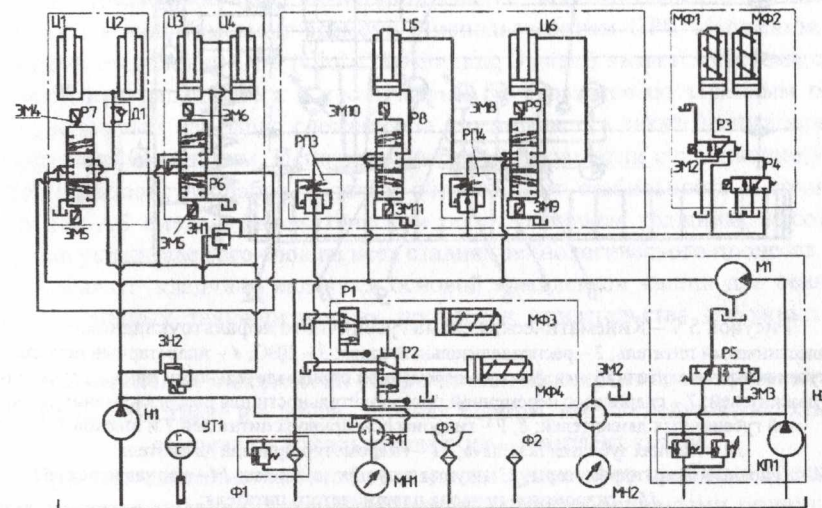


Рисунок 5.8 – Гидравлическая схема асфальтоукладчика:
Б1 – бак с рабочей жидкостью; Д1 – замедлительный клапан; ЭН1, ЭН2 – напорные золотники;
КП1 – предохранительный клапан; М1 – гидромотор; МН1, МН2 – манометры;
МФ1–МФ4 – гидромолоты; Н1, Н2 – насосы;
Р1–Р9 – гидрораспределители; РП1–РП4 – регуляторы потока; УТ1 – термометр;
Ф1–Ф3 – фильтры; Ц1–Ц6 – гидроцилиндры; ЭМ1–ЭМ11 – электромагниты

В качестве примера на рисунке 5.9 представлен вариант кинематической схемы гусеничного АУ. При перемещении АУ его гусеничные движители 5 приводят от гидронасоса 6 через гидромотор 11 и механические передачи (главную зубчатую передачу 10, планетарные редукторы 4 и цепные передачи 14).

При необходимости поворота машины один из гидрораспределителей (правого или левого борта) переключают на соединение с гидронасосом 7. Изменением его подачи устанавливают необходимую величину рассогласования скоростей гусеничных движителей 5 в зависимости от требуемой скорости поворота. Гидромоторы 12 через гидрораспределители могут быть попеременно соединены с гидронасосами 7 для осуществления рассогласования скоростей гусеничных движителей и обеспечения поворота.

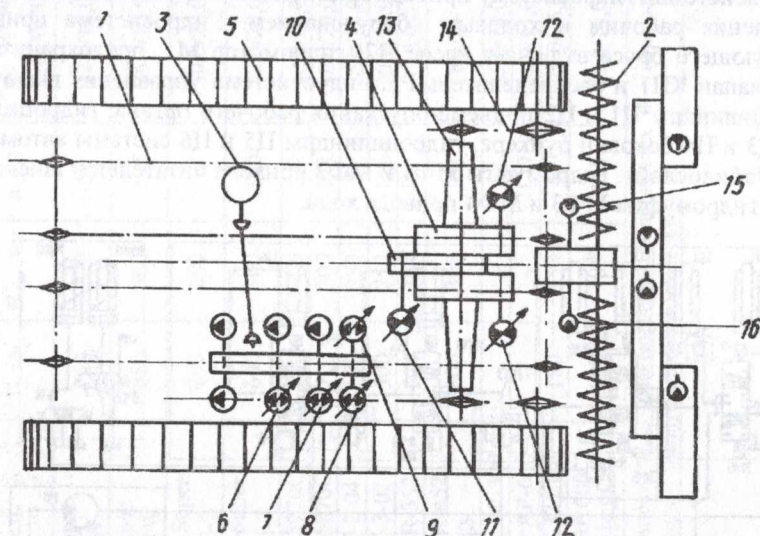


Рисунок 5.9 – Кинематическая схема гусеничного асфальтоукладчика:

- 1 – пластинчатый питатель; 2 – распределительный шнек; 3 – ДВС; 4 – планетарный редуктор;
- 5 – гусеничные движители, 6 – гидронасос переменной производительности привода гусеничных движителей;
- 7 – гидронасос переменной производительности для рассогласования скоростей гусеничных движителей; 8, 9 – гидронасосы привода питателей 1 и шнеков 2;
- 10 – главная зубчатая передача; 11 – гидромотор привода движителя;
- 12 – управляющие гидромоторы; 13 – чулки ведущих звездочек; 14 – цепная передача;
- 15 – гидромотор привода пластинчатого питателя;
- 16 – гидромотор привода распределяющих шнеков

Эти же гидромоторы 12 приводят питатели 1 и шнеки 2 через гидрораспределители от насосов 8 и 9. В этом случае гидромоторы 15 и 16 привода питателей 1 и распределяющих шнеков 2 затормаживают (этими же распределителями).

В транспортном режиме, когда питатели 1 и распределяющие шнеки 2 отключают, гидронасосы 8 и 9 (через распределители) соединяют с гидромоторами 12 и с помощью механических передач управляют скоростью перемещения машины.

Потребители предъявляют разносторонние требования к машинам, что отражается на их комплектации. Для реализации современных технологий создания и восстановления дорожных покрытий, в том числе multifunctionальных, водонепроницаемых (обезвоженных), малозумных и др., машины оснащают легкоъемными дополнительными рабочими органами, способными перерабатывать различные составы асфальтобетонных смесей, в том числе из вторично используемых материалов, а также цементобетонных смесей.

Их снабжают различными автоматическими подсистемами, обеспечивающими регулирование высоты укладки и плотности смесей, поперечных и продольных уклонов, управление рабочими характеристиками (скоростью и направлением движения, количеством смеси в шнековой камере, температурой выглаживающей плиты и др.), а также подсистемами, обеспечивающими мониторинг состояния двигателя, трансмиссии, гидросистемы машины и т. п.

Современные АУ оснащают системой навигации, которая обеспечивает точное трехмерное (3D) позиционирование исполнительного механизма машины в любой момент времени с использованием GPS. Напомним, что основой технологии GPS (Global Positioning System) является система спутников, перемещающихся в космическом пространстве по заданным орбитам, наземный комплекс слежения за спутниками, а также навигационное оборудование машины. Использование этой технологии существенно ускоряет производство работ, а также обеспечивает стабильность и точность укладки АБ смеси с автоматическим регулированием толщины, высоты и уклона укладываемого слоя на всех стадиях технологического процесса.

Асфальтоукладчики являются основой комплексов машин для реализации различных технологических процессов строительства дорожных покрытий.

Традиционная технология устройства АБ покрытий, которую используют в нашей стране и в других странах Европы, имеет следующую схему:

самосвал – асфальтоукладчик – комплект катков.

При всех достоинствах этой технологии существует проблема обеспечения качества укладки, которая обусловлена двумя основными причинами: во-первых, охлаждением и слеживанием смеси при ее транспортировании; во-вторых, ударным контактным воздействием самосвала на АУ при его разгрузке в бункер укладчика.

Технология непрерывного (скоростного) устройства АБ покрытий решает эту проблему за счет использования промежуточного звена между

самосвалом и АУ. Эту технологию, которая отличается от традиционной скоростью и качеством укладки смеси, культивируют в основном в США. В качестве промежуточного звена используют перегружатели или подборщики смеси.

Имеется три основные схемы непрерывного строительства АБ покрытий:

- самосвал с донной разгрузкой – продольный валок – подборщик (или перегружатель) – асфальтоукладчик – комплект катков;
- самосвал с донной разгрузкой – продольный валок – подборщик – передвижной бункер-накопитель – асфальтоукладчик – комплект катков;
- самосвал – перегружатель – асфальтоукладчик – комплект катков.

Во всех трех схемах движение укладчика является непрерывным и бесконтактным за счет использования дополнительной машины. При этом его скорость значительно выше скорости передвижения комплекса по традиционной (европейской) технологии (примерно в четыре раза).

В двух первых схемах используют специализированные самосвалы, которые выкладывают валок АБ смеси на предварительно подготовленное дорожное полотно. Для реализации одного из вариантов укладки покрытий из валка применяют комплекс специализированных машин (рисунок 5.10). В их числе большегрузный автосамосвал с донной разгрузкой 1, перегружатель (или подборщик) смеси 2, состыкованный с ним асфальтоукладчик 3, а также комплект уплотнительной техники 4.

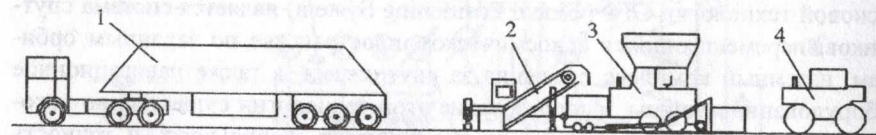


Рисунок 5.10 – Комплекс машин для скоростного строительства:

1 – автосамосвал с донной разгрузкой; 2 – перегружатель АБ смеси;

3 – асфальтоукладчик; 4 – каток

Этот вариант включает следующие операции:

- транспортирование смеси к месту укладки в автосамосвале большой грузоподъемности 1, его донную разгрузку вдоль подготовленной полосы с формированием валка смеси;
- подбор валка смеси перегружателем 2 и ее транспортирование в бункер асфальтоукладчика 3;
- распределение смеси асфальтоукладчиком 3 по ширине укладываемой полосы;
- уплотнение смеси комплектом катков 4.

Из большегрузного самосвала с донной разгрузкой, регулируя положение донных заслонок и скорость машины, укладывают смесь в равномерный валок требуемого сечения для обеспечения заданной толщины и ширины

укладываемой полосы покрытия. Далее перегружателем смеси, который передвигает перед собой асфальтоукладчик, осуществляют подбор смеси из валка и ее транспортировку в бункер асфальтоукладчика, создавая возможность непрерывной разгрузки автосамосвалов независимо от скорости работы комплекса. Для укладки асфальтобетонных смесей используют только колесные асфальтоукладчики, способные развивать рабочие скорости 70 м/мин и более. Смесь загружают в приемный бункер укладчика, откуда питателями подают в шнековую камеру и далее под рабочий орган – виброплиту, обеспечивающую уплотнение на 80–85 % проектной степени уплотнения. При этом трамбующий брус не используют, поскольку его отпечатки не успевают перекрывать друг друга и покрытие становится волнообразным. В завершение уплотняют слой АБ смеси комплектом катков.

Следует отметить, что в схемах с применением валка термическая и гранулометрическая сегрегация смеси сохраняются, поскольку при выгрузке в валок она расслаивается и довольно быстро остывает на дорожном полотне. Частично сегрегацию снижают за счет использования принудительного смешения смеси в бункере перегружателя и нагрева его транспортирующих конвейеров.

Третья схема непрерывной укладки смеси (без применения валков) включает обычный (не узкоспециализированный) самосвал, самоходный или прицепной перегружатель, АУ и комплект катков. Оснащение перегружателя устройствами (вибрационными, шнековыми, лопастными и др.) для дополнительного перемешивания АБ смеси, которое разрушает конгломераты, образующиеся при слеживании и охлаждении смеси, выравнивает температуру и устраняет сегрегацию (расслоение) смеси.

Срок службы такого асфальтобетонного покрытия, получаемого с использованием перегружателя, оказывается в полтора-два раза выше – только за счет устранения температурной и фракционной сегрегации.

Перегружатель представляет собой самоходную машину, оснащенную бункерами и конвейерами. Она предназначена для обеспечения непрерывной и бесконтактной работы асфальтоукладчика. В промежуточном и накопительном бункерах, которыми укомплектовывают перегружатели АБ смеси, образуется ее запас, за счет чего снижается зависимость асфальтоукладчика от подвоза смеси.

Использование перегружателя целесообразно по многим причинам. Во-первых, он устраняет фракционную и температурную сегрегацию смеси, которая неизбежно возникает при транспортировке от тряски и неодинакового остывания смеси на поверхности, у бортов кузова и внутри объема. Смесь подают в бункер асфальтоукладчика однородной по гранулометрическому составу и температуре, а покрытие приобретает высокую ровность и бездефектную структуру. Во-вторых, на поверхности покрытия не образуются поперечных рубцов от выглаживающей плиты, так как укладчик не ис-

Перегружатели целесообразно классифицировать по следующим признакам:

- Конструкция конвейеров перегружателя, как правило, рассчитана не только на транспортирование битумных смесей, но также щебня, грунта и материалов, полученных в результате ресайклинга дорожной одежды.

Как правило, самосходный перегружатель (рисунок 5.11) оснащают приемным бункером 7 (со шнеками или без них), куда выгружают смесь из самосвала. Из бункера смесь с помощью загрузочного конвейера 6 транспортируют в накопительный бункер 8, снабженный перемешивающим смесь шнеком. Затем смесь с помощью широкого промежуточного конвейера 2 поступает на разгрузочный конвейер 1, стрела которого может отклоняться на 20–25° вверх и поворачиваться на 35–55° вправо и влево, и далее попадает в бункер АУ. Наличие поворотного разгрузочного конвейера позволяет перегружателю и укладчику двигаться по различным полосам дорожного полотна, не повреждая перегружателем полосу, подготовленную для укладки, например, со слоем подгрунтовки битумной эмульсией.

Если перегружатель не имеет приемочного бункера (для приема смеси из самосвала), для его работы необходима перегрузка смеси в дорожные валки из самосвала с донной разгрузкой. Это ведет к температурной сегрегации.

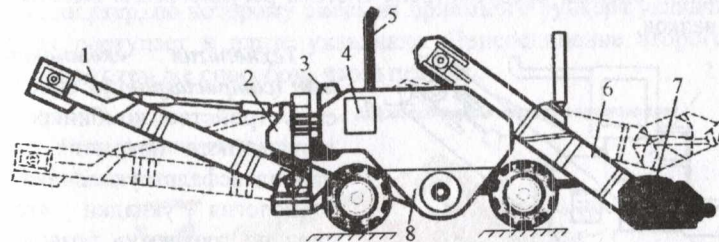


Рисунок 5.11 – Перегрузчик АБ смеси:
1, 2, 6 – конвейеры; 3 – пульт управления; 4 – двигатель; 5 – выхлопная труба (при транспортировании складывается); 7 – приемный бункер (ковш); 8 – накопительный бункер

Для производительной бесконтактной загрузки смеси в укладчик перегружатель оснащают автоматической системой регулирования расстояния между этими машинами, а также датчиками контроля параметров работы его рабочих органов и другими средствами автоматики.

Промежутки между бункером и конвейером закрывают резиновыми кожухами для предотвращения контакта смеси с воздухом. Устранение температурной и фракционной сегрегации смеси в перегружателе достигается за счет ее перемешивания коническими или цилиндрическими шнеками, установленными в приемном и накопительном бункерах. В некоторых моделях не используют шнеки, ограничиваясь естественным перемешиванием смеси, которое происходит при разгрузке конвейера перегружателя в бункер АУ. Антисегрегационными можно считать только перегружатели, бункеры которых оснащают системой принудительного перемешивания смеси.

Подборщик является по существу упрощенной моделью перегружателя, основное назначение которого – подбор смеси из валков и бесконтактная загрузка асфальтоукладчика с помощью конвейеров. Это, как правило, прицепная машина (рисунок 5.12) с приемным бункером 1 для подбора смеси из валка и ленточным (или скребковым) конвейером 3 для транспортирования смеси в АУ. Однако смесь, выкладываемая самосвалом на поверхность дорожного полотна, довольно быстро остывает, что вызывает ее термическую сегрегацию. Поэтому при наличии автономного самоходного перегружателя, как правило, не работают с валками и, соответственно, не используют подборщик.

Ряд моделей АУ снабжают дополнительным оборудованием для укладки покрытий из валков, для чего в приемном бункере укладчика устанавливают дополнительный гидрофицированный пластинчатый конвейер. Возможность загрузки смеси из валков увеличивает накопительную способность бункера и обеспечивает непрерывную работу укладчика, исключая дополнительную настройку выглаживающей плиты после остановок АУ для разгрузки автомобилей со смесью. Для предотвращения загрязнения смеси материалом основа-

ния дорожной одежды предусмотрена система регулирования высоты забора смеси из валков.

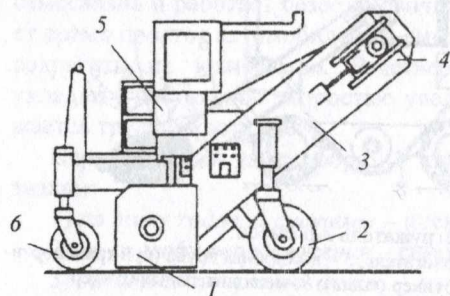


Рисунок 5.12 – Подборщик АБ смеси: 1 – приемный бункер; 2, 6 – ходовое оборудование гидрофицированное; 3 – конвейер; 4 – редуктор привода конвейера; 5 – орган управления

подгрунтовке нижнего слоя перед укладкой верхнего. Прочное сцепление между слоями позволяет добиться высоких показателей качества асфальтобетонного покрытия при его устройстве даже при пониженных температурах окружающей среды.

Для реализации технологии «компакт-асфальт» и создания комбинированного дорожного покрытия используют следующие машины:

- самосвалы (для доставки и выгрузки двух видов АБ смеси в бункеры мобильного перегружателя);
- мобильный перегружатель или перегружатели (для транспортировки двух видов смеси в приемные бункеры асфальтоукладочного комплекса);
- асфальтоукладочный комплекс (для одновременной укладки и уплотнения верхнего и нижнего слоев различных по составу смесей);
- комплект дорожных катков (для окончательного уплотнения комбинированного покрытия).

Асфальтоукладочный комплекс (рисунок 5.13) на базе гусеничного асфальтоукладчика имеет два отдельных бункера (поочередно заполняемых необходимым типом смеси с помощью перегружателя), два самостоятельных дизельных привода и два рабочих органа (у каждого трамбующий брус с выглаживающей виброплитой), но одно общее гусеничное ходовое устройство и единую систему управления всеми агрегатами и рабочими органами.

Как правило, дополненный двумя модулями комплекс монтируют на базе асфальтоукладчика (рисунок 5.14). Первый модуль представляет собой увеличенный бункер, который присоединяют к базовой машине путем заезда укладчика под модуль, т. е. этот бункер является самонесущей конструкцией. Второй модуль имеет автономное энергоснабжение, а также шнеко-

Технология «компакт-асфальт» (*compactasphalt*) обеспечивает устройство комбинированного двухслойного покрытия за один проход асфальтоукладчика. Такая технология укладки «горячего слоя по горячему» позволяет достичь максимального сцепления и уплотнения нижнего (основного) и верхнего (износного) слоев покрытия за счет продления периода эффективного термического воздействия. При этом отпадает необходимость в предварительной под-

вый транспортер, по которому смесь из приемного бункера укладчика верхнего слоя поступает к плите укладчика. Присоединение второго модуля осуществляют тем же способом, что и первого.

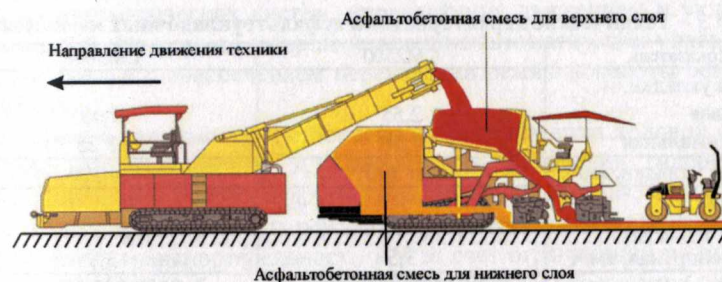


Рисунок 5.13 – Асфальтоукладочный комплекс

Традиционную технологию устройства двухслойных дорожных покрытий осуществляют с применением двух асфальтоукладчиков, идущих друг за другом. Однако при таком способе образуется колея от колес асфальтоукладчика верхнего слоя на уже уложенном нижнем слое. Кроме того, раздельная укладка и уплотнение нижнего и верхнего слоев со значительным временным интервалом между этими мероприятиями требует подгрунтовки нижнего слоя перед нанесением верхнего.

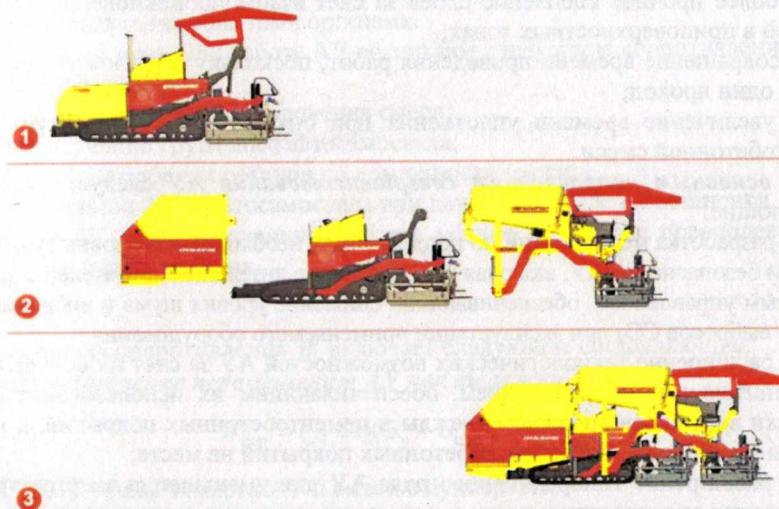


Рисунок 5.14 – Монтаж комплекса на базе гусеничного асфальтоукладчика: 1 – подготовка базового укладчика; 2 – демонтаж загрузочного бункера и крыши базового укладчика и установка дополнительного модуля CM2500; 3 – модернизированный укладочный комплекс

В таблице 5.3 представлены характеристики асфальтоукладочных комплексов, разработанных фирмой «Дупарас» (дочерней компанией шведского концерна «Atlas Copco»)

Таблица 5.3 – Технические характеристики асфальтоукладочных комплексов

Показатель	CM2500	CM3000
Ширина укладки, м:		
– базовая	2,55	3,00
– максимальная	7,50	13,25
Толщина укладки, мм	До 300	До 300
Скорость:		
– рабочая, м/мин	До 13,0	До 20,0
– транспортная, км/ч	3,5	3,8
Габариты, мм	6750/3000/3400	8100/3300/3600
Емкость бункеров, м ³ (верхнего/нижнего)	17/31	45/25
Мощность, кВт	116	–

Технология «компакт-асфальт» имеет ряд технологических преимуществ по сравнению с традиционными технологическими процессами. К ним можно отнести:

- улучшение качества уплотнения асфальтобетонной смеси за счет более медленного остывания и сохранения тепла между слоями;
- более прочное сцепление слоев за счет взаимопроникновения частиц смесей в приповерхностных зонах;
- сокращение времени проведения работ, поскольку оба слоя укладываются за один проход;
- увеличение времени уплотнения при оптимальной температуре асфальтобетонной смеси.

К основным направлениям совершенствования АУ следует отнести следующие:

1) разработка мероприятий по поддержанию необходимого уровня экологической безопасности АУ, включая использование дизельных двигателей с электронным управлением, обеспечивающих снижение уровня шума и вибрации, а также выбросов CO₂ при эксплуатации применяемого оборудования;

2) расширение технологических возможностей АУ за счет их оснащения дополнительным оборудованием, обеспечивающим их использование для укладки всех слоев дорожной одежды и цементобетонных покрытий, а также для восстановления асфальтобетонных покрытий на месте;

3) расширение типоразмерного ряда АУ для уменьшения энергозатрат, увеличения производительности и повышения качества выполняемых работ независимо от свойств и профиля дорожного полотна;

4) применение материалов и конструкций, обеспечивающих их повторное использование (не менее 90–95 мас. %) после списания и утилизации АУ;

5) облегчение управления машиной за счет расширенного информационного обеспечения оператора с выводом на дисплей панели управления показателей работоспособности основных агрегатов АУ, а также за счет применения автоматических систем, управляющих движением и укладкой АУ по заданной программе; совершенствование автоматизации управления рабочими органами с обеспечением переналадки режимов работы без остановки машины;

6) повышение надежности и безопасности эксплуатации ходовой системы тяжелых пневмоколесных АУ за счет их оснащения гидромотор-колесами, устранения цепных и других механических передач, автоматического регулирования скоростных режимов в широком диапазоне скоростей;

7) повышение транспортабельности АУ за счет ограничений по ширине стандартного рабочего оборудования и обеспечения их вписывания в транспортные габариты, которые составляют 2500 мм.

Расчет основных параметров асфальтоукладчиков. При проектировании АУ основными расчетами являются тяговый расчет и баланс мощности. Исходными параметрами для расчетов являются ширина и толщина укладываемого слоя АБ смеси, производительность технологического процесса. Расчеты предусматривают определение основных параметров машины и отдельных рабочих органов, выполнение тягового расчета в рабочем и транспортном положениях, расчеты гидравлической системы машины, в том числе привода рабочего хода и рабочих органов, а также гидрооборудования для управления рабочими органами.

Тяговый расчет. При работе АУ возникают следующие сопротивления:

- перемещению АУ;
- перемещению призмы волочения смеси;
- перемещению груженого автосамосвала;
- сил трения рабочих органов по поверхности смеси;
- сил инерции АУ и автосамосвала при движении после их остановки.

Привод АУ должен развивать тяговое усилие T , которое преодолевает общую силу сопротивления

$$T \geq W. \quad (5.1)$$

Общая сила сопротивления W включает следующие составляющие:

1) **сопротивление перемещению АУ как тележки**, H ,

$$W_{\text{пер}} = (f_1 + i)(G_y + G_{\text{см}}), \quad (5.2)$$

где G_y , $G_{\text{см}}$ – силы тяжести АУ и смеси в бункере, Н;

f_1 – коэффициент сопротивления перемещению по основанию или нижнему слою асфальтобетона, $f_1 = 0,03 \dots 0,07$;

i – продольный уклон, $i = 0,03 \dots 0,07$;

2) *сопротивление перемещению призмы волочения* перед рабочими органами укладчика, Н,

$$W_{\text{пр}} = \mu_2 G_{\text{пр}}, \quad (5.3)$$

где μ_2 – коэффициент внутреннего трения смеси, $\mu_2 = 0,7 \dots 0,8$;

$G_{\text{пр}}$ – сила тяжести смеси в призме волочения, Н,

Сила тяжести призмы, кН,

$$G_{\text{пр}} = \frac{1}{3} \rho_n g B h_{\text{пр}}^2, \quad (5.4)$$

где ρ_n – насыпная плотность укладываемой смеси, $\rho_n = 1,8 \text{ т/м}^3$;

B – ширина укладываемого слоя, м;

$h_{\text{пр}}$ – высота призмы, м;

3) *сопротивление перемещению груженого автосамосвала*, Н,

$$W_c = (f_1 + i)(G_c + G_{\text{см}}^c), \quad (5.5)$$

где $G_c, G_{\text{см}}^c$ – силы тяжести автосамосвала и смеси в самосвале, Н;

4) *сопротивление силам трения рабочих органов* по укладываемой смеси, Н,

$$W_{\text{тр}} = \mu_1 G_p, \quad (5.6)$$

где μ_1 – коэффициент трения скольжения рабочих органов по смеси,

$\mu_1 = 0,5 \dots 0,6$;

G_p – сила тяжести рабочих органов, Н;

5) *сопротивление сил инерции АУ и автосамосвала*, Н, при возобновлении движения после вынужденных остановок

$$W_{\text{ин}} = \frac{G_y + G_{\text{см}} + G_c}{g} \cdot \frac{v_p}{t_{\text{раз}}}, \quad (5.7)$$

где v_p – рабочая скорость АУ, м/с;

$t_{\text{раз}}$ – время разгона до рабочей скорости, $t_{\text{раз}} = 1 \dots 2 \text{ с}$.

Общее сопротивление

$$W = W_{\text{пер}} + W_{\text{пр}} + W_c + W_{\text{тр}} + W_{\text{ин}}. \quad (5.8)$$

Для обеспечения работы АУ без пробуксовки необходимо проверить возможность его передвижения по условиям сцепления, используя уравнение тягового баланса. Должно выполняться условие

$$\varphi_{\text{сц}} G_y \geq W, \quad (5.9)$$

где $\varphi_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления движителя с основанием, $\varphi_{\text{сц}} = 0,3 \dots 0,5$.

Производительность АУ можно оценить в двух вариантах:

$$\Pi_1 = 3,6 \cdot 10^3 k_b \rho_y h_{\text{сц}} B v_p, \text{ т/ч}, \quad (5.10)$$

или

$$\Pi_2 = 3,6 \cdot 10^3 k_b B v_p, \text{ м}^2/\text{ч}, \quad (5.11)$$

где k_b – коэффициент использования рабочего времени, $k_b = 0,85 \dots 0,90$;

ρ_y – плотность уплотненного материала, т/м^3 ;

$h_{\text{сц}}$ – толщина укладываемого уплотненного слоя, м.

В расчетах эксплуатационных характеристик механизмов (вместимости бункера, производительности пластинчатого питателя, производительности шнека) следует учитывать необходимость согласованности их работы.

Вместимость бункера, м^3 ,

$$V_6 = \frac{\Pi_1 t_n}{60 k_n \rho_n}, \quad (5.12)$$

где t_n – продолжительность паузы между разгрузками смеси из автосамосвала в бункер, $t_n = 2,0 \dots 2,5 \text{ мин}$;

k_n – коэффициент наполнения бункера, $k_n = 0,6 \dots 0,7$.

Производительность пластинчатого питателя, т/ч ,

$$\Pi_n = 60 \rho_n b_n h_{\text{щ}} v_n, \quad (5.13)$$

где b_n – ширина питателя, м;

$h_{\text{щ}}$ – высота щели между питателем и заслонкой, м;

v_n – скорость ленты питателя, м/мин.

Суммарная производительность двух питателей должна составлять $1,5 \Pi_1$, тогда при выбранной скорости v_n *высота щели питателя*, т/ч ,

$$h_{\text{щ}} = \frac{1,5 \Pi_1}{60 k_n \rho_n i b_n v_n}, \quad (5.14)$$

где k_n – скоростной коэффициент производительности, $k_n = 0,8$;

i – число питателей, $i = 2$.

Производительность распределительного шнека, т/ч ,

$$\Pi_{\text{ш}} = 3,6 \cdot 10^3 k_n k_3 \rho_n D_{\text{ш}}^2 t_{\text{ш}} n_{\text{ш}}, \quad (5.15)$$

где k_n – коэффициент снижения производительности из-за проскальзывания и прессования смеси, $k_n = 0,9$;

k_z – коэффициент заполнения сечения, $k_z = 0,7$;

$D_{ш}$ – диаметр шнека,

$$D_{ш} = \begin{cases} 0,20 \dots 0,25 \text{ м,} \\ 0,30 \text{ м,} \\ 0,35 \dots 0,40 \text{ м;} \end{cases}$$

$t_{ш}$ – шаг шнека, $t_{ш} \approx D_{ш}$;

$n_{ш}$ – частота вращения шнека, $n_{ш} = 70 \dots 80 \text{ с}^{-1}$.

Производительность шнека должна быть не меньше производительности одного питателя:

$$П_{ш} \approx 1,3 П_n. \quad (5.16)$$

Баланс мощности. При определении мощности силовой установки АУ следует учитывать мощность, идущую на преодоление сопротивлений перемещению, а также мощности приводов отдельных механизмов: пластинчатых питателей, шнеков, трамбующих брусьев, вибрационных плит и вспомогательных механизмов.

Общая мощность двигателя АУ является суммой мощностей, расходуемых на обеспечение необходимых тяговых характеристик, а также мощности, необходимой для привода всех механизмов:

$$N = N_{пер} + n_n N_n + n_{ш} N_{ш} + n_6 N_6 + n_{пл} N_{пл} + N_{вс}, \quad (5.17)$$

где n_n , $n_{ш}$, n_6 , $n_{пл}$ – число питателей, шнеков, трамбующих брусьев и вибрационных плит соответственно.

Транспортную скорость АУ определяют по выбранной мощности двигателя.

Мощность, затрачиваемую на передвижение АУ, кВт,

$$N_{пер} = 10^{-3} \frac{W v_{пр}}{\eta_r}, \quad (5.18)$$

где η_r – КПД трансмиссии АУ.

Мощность привода питателя расходуется на перемещение и подъем материала, а также на преодоление сил внутреннего трения, возникающих при перемещении смеси питателем в бункере.

Мощность привода при горизонтальном расположении питателя, кВт,

$$N_n = 10^{-3} \frac{k_d W_n v_{nn}}{\eta_{nn}}, \quad (5.19)$$

где k_d – коэффициент динамичности, $k_d = 1,2 \dots 1,3$;

W_n – сила сопротивления перемещению смеси и цепей со скребками, Н;

$v_{ц}$ – скорость движения цепи питателя, $v_{ц} = 0,5 \dots 0,6 \text{ м/с}$;

η_{nn} – КПД привода питателя, $\eta_{nn} = 0,9$.

Сила сопротивления перемещению, Н,

$$W_n = \omega_{ст} \rho_n g b h L, \quad (5.20)$$

где $\omega_{ст}$ – коэффициент сопротивления транспортированию смеси, $\omega_{ст} = 0,2 \dots 0,3$;

L – длина транспортера-питателя, м.

Мощность привода распределительного шнека, кВт,

$$N_{ш} = 10^{-3} \frac{k_p k_{см} k_z g L_{ш} П_{ш}}{3,6 \eta_{пш}}, \quad (5.21)$$

где k_p – коэффициент, учитывающий расход смеси, $k_p = 0,6$;

$k_{см}$ – коэффициент, учитывающий технологические характеристики смеси, $k_{см} = 5$;

k_z – коэффициент запаса, учитывающий подпор смеси под действием питателя, $k_z = 1,5$;

$L_{ш}$ – максимальный путь перемещения смеси вдоль шнеков по ширине (для двух шнеков $L_{ш} = B$), м;

$\eta_{пш}$ – КПД привода шнека, $\eta_{пш} = 0,9$.

Мощность привода трамбующего бруса расходуется на преодоление сил трения бруса о смесь и выглаживающую плиту, а также на преодоление сил сопротивления смеси при ее уплотнении трамбующим брусом.

Сила трения трамбующего бруса по смеси, при его возвратно-поступательном движении, Н,

$$F_{см} = \mu_1 W_{пр}, \quad (5.22)$$

где μ_1 – коэффициент трения бруса по смеси, $\mu_1 = 0,5 \dots 0,6$;

$W_{пр}$ – сила сопротивления перемещению призмы смеси перед брусом, Н (для ее оценки используют формулу (5.3)).

Сила трения бруса о выглаживающую плиту, Н,

$$F_{пл} = f_{пл} (W_{пр} + S_{пр}), \quad (5.23)$$

где $f_{пл}$ – коэффициент трения трамбующего бруса о плиту, $f_{пл} = 0,2 \dots 0,3$;

$S_{пр}$ – усилие поджимной пружины, Н.

Для упрощения расчета не учитывают давление пружины, т. е.

$$F_{пл} = f_{пл} W_{пр}. \quad (5.24)$$

Таким образом, *общая сила трения*, Н,

$$F = F_{см} + F_{пл}. \quad (5.25)$$

Работа общей силы трения за один оборот дебалансного вала привода трамбующего бруса, Дж,

$$A_{тр} = 4eF, \quad (5.26)$$

где e – эксцентриситет дебалансного вала, $e = 0,005 \dots 0,007$ м.

Работа по уплотнению брусом смеси (также за один оборот вращения дебалансного вала), Дж,

$$A_{уп} = 4eP_{уп}, \quad (5.27)$$

где $P_{уп}$ – вертикальная сила давления бруса на смесь при ее трамбовке, Н,

$$P_{уп} = p_{уп} S_{бр}, \quad (5.28)$$

$p_{уп}$ – удельное сопротивление смеси воздействию бруса при уплотнении, $p_{уп} = 10$ кПа;

$S_{бр}$ – площадь контакта трамбующего бруса со смесью, m^2 ,

$$S_{бр} = Bt_n, \quad (5.29)$$

B – длина бруса (ширина уплотняемой полосы), м;

t_n – толщина ножа, равная ширине кромки борта бруса (поскольку смесь частично уплотняется скосом бруса), $t_n = 0,015$ м.

Суммарная работа трамбующего бруса складывается из суммы работ по формулам (5.26) и (5.27):

$$A = A_{тр} + A_{уп} = 4e(F + P_{уп}). \quad (5.30)$$

Мощность, расходуемая на работу трамбующего бруса, кВт, с учетом формулы (5.28)

$$N_6 = 10^{-3} \frac{\beta_{нн} A n_6}{\eta_{пб}}, \quad (5.31)$$

где $\beta_{нн}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность нагрузки из-за сил инерции и силы тяжести бруса, $\beta_{нн} = 1,3 \dots 1,4$;

n_6 – частота вращения вала привода, $n_6 = 25 \dots 35$ s^{-1} ;

$\eta_{пб}$ – КПД привода бруса.

Мощность привода вибрационной плиты, кВт,

$$N_{пл} = \kappa_{уд} S_{пл} = \kappa_{уд} l_{пл} b_{пл}, \quad (5.32)$$

где $\kappa_{уд}$ – размерный коэффициент пропорциональности, $\kappa_{уд} = 1,2 \dots 1,6$ кВт/ m^2 ;

$S_{пл}$ – площадь контакта виброплиты с асфальтобетоном, m^2 ;

$l_{пл}$ – длина плиты, м;

$b_{пл}$ – ширина плиты, м.

Мощность привода вспомогательных механизмов (топливного насоса, мешалки, воздуходувки системы обогрева выглаживающей плиты)

$$N_{всп} = 1,5 \dots 2,0 \text{ кВт}. \quad (5.33)$$

Для тяжелых и сверхтяжелых АУ целесообразно принять

$$N_{всп} \approx 10 \% N, \text{ кВт}.$$

Зная мощности, расходуемые на передвижение АУ и работу всех его механизмов, выбирают дизельный двигатель так, чтобы

$$N_{дв} \geq N.$$

5.3 Дорожные катки

Уплотнение является завершающей стадией процесса создания покрытий дорожной одежды. Степень уплотнения определяет эксплуатационные характеристики покрытий автомобильных дорог, в том числе ровность, водонепроницаемость, износостойкость и стойкость к атмосферным воздействиям. Как правило, для устройства покрытий применяют свежеприготовленные асфальтобетонные смеси, плотность которых значительно ниже, чем плотность бетонов на их основе. Задача уплотнения – снизить пористость и повысить плотность материалов до значений, которые регламентированы нормативно-технической документацией. Главным условием процесса уплотнения является постепенное – от прохода к проходу – увеличение удельного давления рабочего органа на слой смеси, что способствует его уплотнению и увеличению прочности.

Задачу уплотнения АБ смеси решают, как правило, комплексно:

– во-первых, на стадии укладки смеси используют агрегаты предварительного или высокого уплотнения асфальтоукладчиков;

– во-вторых, на стадии уплотнения применяют комплекты асфальтовых катков, набор которых (легкие, средние или тяжелые) зависит от степени уплотнения смеси при укладке.

Для АБ смесей, различающихся вязкостью вяжущего, размерами частиц и фракционным составом заполнителей, составом и соотношением компонентов, имеется широкий выбор дорожных (асфальтовых) катков. Поскольку одним из основных требований к АБ покрытиям является их ровность, для уплотнения смесей используют только катки с гладкими металлическими и пневматическими вальцами. Толщину слоя задает АУ, а катки подбирают в зависимости от типа дорожной одежды, технологии укладки, состава смеси и др. Для каждого статического или вибрационного катка, имеющего заданные геометрические, массовые и вибрационные параметры, существуют оптимальные толщины уплотняемых слоев асфальтобетонной смеси.

Дорожные катки различают по следующим основным признакам:

- 1) по величине статического линейного давления, Н/см, – легкие (до 400), средние (400–600) и тяжелые (более 600);
- 2) по типу несущей конструкции – с моноблочной и шарнирно-сочлененной рамой;
- 3) по способу воздействия на уплотняемую поверхность – статические и вибрационные;
- 4) по виду рабочего оборудования – с гладкими металлическими вальцами, с пневматическими колесами с гладким протектором и комбинированные, т. е. сочетающие металлические вальцы и пневмоколеса;
- 5) по типу колебаний вибровальца – с круговыми ненаправленными и направленными, в том числе вертикальными и горизонтальными (осциллирующими).

В дополнение к материалу, изложенному в первой части учебника, целесообразно рассмотреть только катки, предназначенные для уплотнения АБ смесей. Наибольшее применение имеют двухосные катки.

Статическое действие на смесь реализуют с помощью гладких металлических и пневмоколесных вальцов. Уплотняющая способность катка с металлическими вальцами зависит от его силы тяжести и диаметра вальцов, т. е. от величины удельного линейного давления. Уплотняющая способность катка с пневмоколесами зависит от его силы тяжести и давления в шинах.

Уплотнение гладкими металлическими вальцами происходит в результате медленного (по существу статического) повышения напряжения в слоях смеси, прилегающих к зоне контакта с вальцом. На эффективность уплотнения и толщину уплотненного слоя влияют величина линейного давления, вязкость вяжущего и концентрация заполнителей. При этом на границе полосы уплотнения жестким вальцом может наблюдаться резкий

перепад напряжений в уплотненной и неуплотненной смесях, что в дальнейшем приводит к образованию трещин. Кроме того, перед таким вальцом при движении образуется волна деформируемой смеси с нарушенной структурой.

Уплотнение смеси упругими пневмоколесными катками обусловлено сочетанием статического действия силы тяжести катка и упругой деформации пневматических шин, которая вызывает сдвиговый эффект уплотнения за счет выдавливания воздуха из смеси в направлении перемещения катка. Кроме того, деформация шины обеспечивает еще один положительный эффект – устраняет упомянутое трещинообразование на границе полосы уплотнения за счет плавного перепада напряжений на этой границе и расширения зоны уплотнения смеси. Современные модели пневмоколесных катков оборудуют централизованной системой регулирования давления в шинах, что позволяет управлять площадью зоны уплотнения. Однако упругие деформации пневмоколесных катков затрудняют получение ровной поверхности, поэтому для окончательной отделки покрытий используют только гладковальцовые катки.

Уплотняющее воздействие вибрационных катков обусловлено сочетанием статической и динамической нагрузок на АБ смесь. Вибрация вальца существенно снижает внутреннее трение в смеси, что способствует ее лучшему уплотнению. В наибольшей степени это проявляется для жестких смесей с ограниченным содержанием вяжущего. Катки с вибрационными вальцами значительно эффективнее статических: по эффекту уплотнения вибрационные катки с массой 1,5–8,0 т эквивалентны каткам статического действия с массой 10–15 т. Важным достоинством современных виброкатков является возможность регулирования их уплотняющего воздействия за счет управления частотно-амплитудными характеристиками колебаний виброэлементов вальцов. Конструкции вальцов обеспечивают бесступенчатое (плавное) или ступенчатое (дискретное) изменение амплитуды колебаний в широком диапазоне, а также реализацию круговых (ненаправленных) и направленных, в том числе реверсивных колебаний, что позволяет подбирать оптимальные параметры вибровоздействия в зависимости от стадии уплотнения и толщины слоя, состава и температуры смеси.

Двухосные катки с гладкими металлическими вальцами бывают легкого, среднего и тяжелого типов. Как правило, широкие вальцы средних и тяжелых катков делают разрезными, состоящими из двух одинаковых секций, во избежание повреждения поверхности покрытия за счет сдвига материала при поворотах. Секции ведущих разрезных вальцов соединяют между собой дифференциалом, а секции ведомых свободно устанавливают на оси с небольшим зазором между ними, который не влияет на качество укатки поверхности. Двухвальцовые катки («тандемы») имеют

валяцы одинаковой ширины и диаметра. Нередко их оснащают устройствами, обеспечивающими боковое смещение одного вальца относительно другого, что расширяет их технологические возможности. Они могут иметь один (задний) или оба ведущих вальца. Тандемные катки могут быть как статического, так и вибрационного действия.

Пневмоколесные катки имеют в основном моноблочную жесткую раму, которая опирается на ходовую систему в трех точках: одна – спереди, две – сзади. Такая компоновка обеспечивает устойчивость и равномерное распределение силы тяжести катка по уплотняемой поверхности. Ведущие пневмоколеса задней оси располагают на неразрезном мосту, а управляемые передние пневмоколеса качаются в поперечной плоскости вследствие крепления к раме в одной точке. За счет балласта, загружаемого в балластный отсек в средней части катка, его масса может быть увеличена в два раза. Количество передних и задних пневмоколес должно быть различным, чтобы они перекрывали зоны уплотнения друг друга. В основном используют сочетания пневмоколес по осям 3×4 и 5×6.

Комбинированные катки совмещают достоинства жестких вальцов и упругих пневмоколес: на одной оси устанавливают сплошной или разрезной металлический валец, на другой – пневматические колеса с гладким протектором. Ходовая гидрообъемная трансмиссия комбинированных катков состоит из одного (при одном ведущем вальце) или двух контуров. Привод хода ведущего вальца включает насос регулируемой подачи, гидромотор и редуктор. При выходе из строя одного из гидроконтуров другой обеспечивает нормальную работу катка.

Жестковальцовые и комбинированные катки имеют моноблочную или шарнирно-сочлененную рамы. *Моноблочная рама* дает повышенную жесткость катку, что позволяет при необходимости перераспределять его силу тяжести между вальцами. Рама с двумя управляемыми вальцами обеспечивает возможность изменения направления движения поворотом переднего или заднего вальца, а также одновременным поворотом обоих вальцов. *Шарнирно-сочлененная рама* состоит из передней и задней полурам, которые могут поворачиваться относительно друг друга в горизонтальной плоскости на угол до 30–35° и в вертикальной – на угол $\pm(8...12)^\circ$. Каждая из полурам опирается на жесткий валец или комплект пневматических колес. Ось жесткого вальца закреплена неподвижно относительно полурам, а ось пневмоколес может быть как неподвижной, так и подвижной, что значительно повышает маневренность катка. Шарнирное сочленение увеличивает набор способов поворота по сравнению с моноблочной рамой. Каждую из полурам снабжают балластным водяным баком, который выполняет также функции резервуара системы орошения вальцов.

Вибрационные катки обеспечивают более высокую степень уплотнения, поскольку сочетают действие статической силы (т. е. собственной

силы тяжести) и вынуждающей силы, связанной с колебаниями вибратора. Для этих целей применяют только жесткие металлические вальцы, поскольку пневмоколеса являются виброизоляторами, демпфирующими колебания. В качестве вибраторов используют, как правило, дебалансные элементы (валы и др.) с регулируемыми частотно-амплитудными характеристиками. Вибрационные катки оснащают системой амортизаторов, защищающих оператора, силовую установку и гидропривод от вибраций.

В конструкциях вибрационных вальцов используют ненаправленные и направленные колебания.

Самым простым способом уплотнения является использование **ненаправленных круговых колебаний**. Их можно реализовать с помощью одиночного вала с дебалансами, который устанавливают соосно оси вибровальца. Круговые колебания передаются от дебалансного вала через валец на уплотняемый материал. Валец с одним дебалансным валом имеет, как правило, одну или две фиксированные частоты вращения вала вибровозбудителя, а также одно или два значения вынуждающей силы.

Двухрежимную вибрацию используют в большинстве имеющихся сейчас моделей виброкатков. Вместе с тем она стала явно недостаточной для уплотнения материалов различного типа и состояния с учетом необходимости регулирования толщины уплотняемых слоев. Поэтому разработчики (фирмы «Bomag», «Ingersoll-Rand», «Ammann», «Hamm», «Dunapac», «Caterpillar» и др.) устанавливают на виброкатках многорежимные уплотняющие системы. Эти системы выпускают двух типов: во-первых, устройства с **дискретным регулированием** уплотняющего воздействия вибровозбудителя **круговых ненаправленных колебаний**; во-вторых, устройства с **плавным регулированием** уплотняющего воздействия вибровозбудителя **направленных колебаний**.

Первый тип устройств имеет одну, две или три частоты ненаправленных колебаний вальца с несколькими амплитудами силового воздействия. Например, фирма «Ingersoll-Rand» выпускает виброкатки, обеспечивающие восемь амплитуд и две частоты колебаний вальца; фирма «Caterpillar» выпускает виброкатки с тремя-пятью амплитудами при одной-трех частотах вальца.

Второй тип устройств снабжают механизмами, обеспечивающими направленные колебания.

Направленные колебания реализуют в двух вариантах:

- 1) с помощью двух вибровальцов, каждый из которых имеет вибровозбудитель с круговыми колебаниями (как правило, вал с дебалансом);
- 2) с помощью пары вибровалов с дебалансными элементами, которыми оснащают валец.

Напомним, что любой вибрационный каток оказывает два вида воздействия на уплотняемый материал: *статическое* и *динамическое*. При тради-

ционном уплотнении виброколебания (как и статическая нагрузка) действуют в вертикальном направлении, а при осцилляторном – статическая вертикальная нагрузка сочетается с реверсивными виброколебаниями в горизонтальной плоскости.

Этот же принцип лежит в основе конструкции дорожного катка тандемного типа ДС-31М, который производят на предприятии ОАО «Белдормаш». Он оснащен двумя ведущими и управляемыми гладкими металлическими вальцами (передним вибрационным и задним осцилляторным). Номинальная частота вибрации и осцилляции составляет 36 Гц при амплитуде вибраций до 0,7 мм. Эксплуатационная масса катка составляет 10,5 т при линейном давлении 30 Н/мм, диаметре вальцов 1200 мм и ширине 2445 мм.

Для лучшей передачи уплотняемому материалу горизонтальных усилий поверхность вальца должна иметь высокий коэффициент сцепления с опорной поверхностью, чтобы не было проскальзывания вальца. Этому требованию удовлетворяют вальцы с обрешеченной поверхностью, поскольку ее коэффициент сцепления в 1,7–1,8 раза выше, чем стали.

Современные уплотняющие системы обладают возможностью управления силовым воздействием в диапазоне от вертикальных до горизонтальных колебаний вибровозбудителя, что позволяет подбирать оптимальный режим уплотнения для материалов различного типа и структуры. Регулирование амплитуды колебаний осуществляют за счет изменения относительного положения дебалансов между собой.

Производители дорожных машин выпускают, как правило, типоразмерные ряды асфальтовых катков, которые различаются как по главному параметру (ширине укатываемой полосы), так и по другим классификационным признакам. При этом широко используют блочно-модульный принцип проектирования с применением унифицированных сборочных единиц и агрегатов. Он позволяет с минимальными затратами создать обширную гамму уплотняющей техники для различных материалов и условий эксплуатации.

В таблице 5.4 приведены некоторые технические характеристики наиболее распространенных на постсоветском пространстве дорожных катков. В их числе двухосные статические катки с гладкими металлическими вальцами (ДУ-72, ДУ-73, ДУ-63-1, ДУ-93 и др.), вибрационные двухосные катки с гладкими металлическими вальцами, оснащенными одним (ДУ-47Б) или двумя вибровальцами (ДУ-63, ДУ-98), пневмоколесные статические двухосные катки (ДУ-65, ДУ-100), комбинированные катки, оснащенные приводными металлическими вибровальцами и статическими пневмоколесами (ДУ-54М, ДУ-64, ДУ-97, ДУ-99). Как видно из таблицы 5.4, для уплотнения АБ смеси в основном используют катки, имеющие цельнорамные конструкции.

В качестве примера типоразмерного ряда можно привести асфальтовые катки фирмы «Дупарас». Ее тандемные и комбинированные вибрационные катки охватывают широкий диапазон эксплуатационно-технических харак-

теристик – от малогабаритных катков (с шириной 0,8 м), которые используют для выполнения небольших объемов работ (пешеходных тротуаров и подъездных путей), до тяжелых катков (с шириной укатки более 2 м), которые предназначены для уплотнения с высокой производительностью АБ смесей на магистральных дорогах, улицах и в промышленных зонах. Свое вибрационное воздействие на смесь они осуществляют при фиксированных частотах (одной или двух) с амплитудой колебаний в пределах 0,2–0,8 мм.

Таблица 5.4 – Технические характеристики дорожных катков

Марка	Тип движителя	Масса, т	Мощность, кВт	Ширина укатки, м	Статическая линейная нагрузка, кг/см	Рабочая скорость, км/ч
ДУ-54М	Комби	2,2	5,9	0,87	18,0	3,0
ДУ-72	Вальцы	5,5	18,4	1,08	22,0	5,5
ДУ-47Б	Вальцы	6,0	36,7	1,4	25,0	6,8
ДУ-73	Вальцы	6,5	44,0	1,4	25,0	8,0
ДУ-96	Вальцы	7,0	48,0	1,5	24,5	12,0
ДУ-97	Комби	7,0	48,0	1,5	24,7	12,0
ДУ-93	Вальцы	10,0	44,0	1,4	34,3	6,8
ДУ-63-1	Вальцы	8,5	44,0	1,7	25,0	7,0
ДУ-64	Комби	9,5	57,4	1,7	33,0	10,0
ДУ-99	Комби	9,5	73,6	1,7	30,8	12,0
ДУ-63	Вальцы	10,5	57,4	1,7	33,0	10,0
ДУ-98	Вальцы	10,5	73,6	1,7	30,8	13,0
ДУ-65	Пневмо	12,0	57,4	1,7	1500*	8,0
ДУ-100	Пневмо	14,0	73,6	1,95	1750*	16,0

* Нагрузка на одно колесо, кг.

Эта же фирма выпускает ряд моделей виброкатков с покрытыми вулканизированной резиной металлическими вальцами. Их используют в основном при поверхностной обработке уложенных покрытий нанесением шероховатых слоев, которые увеличивают сопротивление заносу автомобиля и обеспечивают поверхностный дренаж. Применение прорезиненных катков уменьшает риск дробления каменного материала в поверхностном слое и значительно снижает уровень шума при работе катка. Однако резина имеет относительно низкие прочностные характеристики, что заставляет при движении избегать сосредоточенных нагрузок от крупных камней и бордюрно-го камня.

К основным направлениям энергосберегающего развития уплотнительной техники следует отнести следующие:

- 1) расширение типоразмерного ряда асфальтовых катков с оптимальными параметрами для обеспечения высокой производительности;
- 2) снижение энергозатрат за счет использования эффективных физических методов воздействия катков на асфальтобетонную смесь;

3) оснащение катков вспомогательным оборудованием (устройствами для уплотнения и отрезки кромки покрытий и др.) для расширения их технологических возможностей;

4) оснащение катков системами глобального позиционирования (GPS и др.) для повышения качества уплотнения и увеличения производительности дорожных работ;

5) установка на вибрационных катках систем электронного управления, обеспечивающих автоматическое регулирование частотно-амплитудных характеристик в зависимости от состава и структуры асфальтобетонных смесей.

Применение GPS в виброкатках позволяет повысить производительность уплотнения дорожных покрытий за счет увеличения толщины уплотняемого слоя без ухудшения его качества. Их оснащают системами контроля качества уплотнения, которые дают оператору информацию о технологическом процессе и позволяют эффективно управлять его параметрами. Например, фирма «Sakai America» устанавливает на вибрационных катках систему контроля CIS (*Compaction Information System*), которая отражает на дисплее карту перемещения машины с учетом данных GPS, распределение температуры смеси и степень уплотнения при заданных частотно-амплитудных характеристиках. Эта информация позволяет оператору легко контролировать процесс и достичь требуемого качества уплотнения в зависимости от технологических характеристик смеси.

Наиболее эффективным для обеспечения баланса качества покрытий и производительности работ представляется направление, связанное с так называемым «интеллектуальным уплотнением» IC (от англ. *intellectual compaction*). Системы IC, которыми оснащают катки многие ведущие фирмы, представляют собой электронные органы управления и контроля, непрерывно регистрирующие плотность уплотняемого материала. На основании этих данных происходит автоматическая коррекция частоты и амплитуды вибровоздействия, а также скорости перемещения катка для обеспечения заданной плотности покрытий. Корректировка процесса уплотнения покрытий в режиме реального времени (с учетом толщины, состава и структуры уплотняемых материалов) способствует уменьшению числа проходов катка, снижению энергоемкости уплотнения и повышению качества покрытий.

Наряду с колесными виброкатками получили развитие гусеничные виброкатки. Ряд моделей полуприцепных катков производит компания «Komatsu» для уплотнения дорожных оснований и покрытий. Каток имеет шарнирно-сочлененную раму, в передней части которой установлен гусеничный вибровалец, а на задней оси – пневмоколесное (модель JT150WA-1) или гусеничное (модель JT150WAC-1) шасси. При массе более 16 т вынуждающая сила на вибровальце составляет 180 кН при амплитуде колебаний 2,8 мм, что позволяет эффективно уплотнять глубинные слои дорожного основания. К достоинствам таких катков относят, во-первых, высокую устойчивость на уклонах (угол уклона 15 и 22 % соответственно без исполь-

зования вспомогательных агрегатов); во-вторых, возможность сглаживания неровностей предыдущих этапов уплотнения; в-третьих, большую площадь контакта рабочего органа с уплотняемой поверхностью.

Помимо упомянутых направлений развития катков, исследователи и разработчики новой техники пытаются повысить эффективность уплотнения дорожно-строительных материалов с помощью нетрадиционных приемов [8], которые пока не выходят за рамки исследований и опытных испытаний. В их числе методы так называемого *виброволнового воздействия* вальца на смесь. На рисунке 5.15 представлена принципиальная схема виброволнового вальца. Он содержит упругую цилиндрическую обечайку 1 с генератором виброволн внутри вальца. Генератор волн содержит три пары опорных роликов 2 и 3, установленных на специальной раме. Эксцентриковые ролики 2 вызывают *вибродеформацию* обечайки, которая, в свою очередь, своей нижней частью уплотняет смесь. Достоинством этого метода является низкая энергоемкость процесса уплотнения, поскольку во вращение приводят только ролики, расположенные в нижней части вальца, что существенно снижает энергопотребление возбудителя колебаний по сравнению с традиционным вибровальцом.

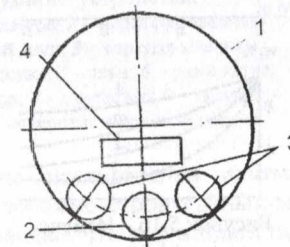


Рисунок 5.15 – Схема виброволнового вальца:
1 – стальная обечайка; 2 – ролик опорный эксцентриковый;
3 – ролик опорный; 4 – рама

Пневмокотки используют только в статическом режиме, поскольку они гасят колебания вибровозбудителя из-за наличия в шинах сжатого воздуха. Между тем они обладают весьма существенным достоинством – возможностью изменения контактного давления на уплотняемый материал за счет изменения давления в шинах. Вместе с тем имеется несколько технических решений конструкций *вибрационных пневмокотков*, у которых шины заполняют жидкостью. Наличие в шине жидкости (несжимаемой среды) дает возможность эффективно использовать вибрации пневмоколеса, т. е. реализовать сочетание статического и динамического воздействия на смесь. Изменяя количество жидкости в пневмоколесе (т. е. давление в шине) и подбирая режим вибрации, можно управлять не только контактным давлением на смесь, но и частотной характеристикой колебаний пневмоколеса для ее подстройки под изменяющуюся собственную частоту уплотняемого материала для достижения резонанса. Регулируя режимы статического и динамического воздействия, с помощью одного катка можно реализовать весь цикл уплотнения материала от начала и до конца.

Эта же цель – использование только одного катка для уплотнения смеси – является основой применения *вакуумных технологий* [8]. Исследования показывают, что их применение позволяет повысить производительность за счет сокращения числа проходов катка по одному следу в 1,5–2,0 раза. При этом

существенно улучшаются водостойкость, сдвигоустойчивость, морозостойкость и прочностные характеристики слоя АБ смеси, что увеличивает срок службы покрытий в 1,5–2,0 раза. Данные экспериментов, представленные на рисунке 5.16, показывают, что вакуумирование (при степени разрежения в вакуумной камере в пределах 5–10 кПа) АБ смеси дает значительный положительный эффект при уплотнении как в статическом, так и в динамическом режимах. Из рисунка 5.16 видно, что совместное действие вибрации и вакуумирования (за 8 проходов катка) на 65 % более эффективно, чем просто вибрация (по водонасыщению).

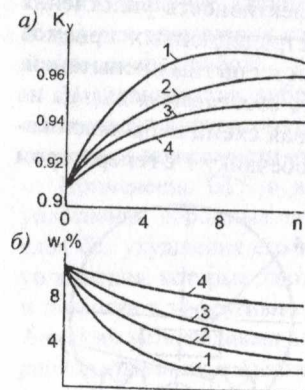


Рисунок 5.16 – Изменение коэффициента уплотнения K_y (а) и водонасыщения W (б) при уплотнении смеси от числа проходов катка, работающего в режиме: 1 – вибрационном с вакуумированием; 2 – статическом с вакуумированием; 3 – вибрационном; 4 – статическом

вакуумные методы не получили распространения из-за низких эксплуатационных характеристик вакуумных устройств.

Совершенствование вакуумных технологий осуществляют в направлении создания устройств для *бесконтактного вакуумирования* АБ смеси. На рисунке 5.18 приведена схема бесконтактного вакуумного устройства, которое представляет собой двухсекционную камеру. Нижняя камера 1 открыта со стороны уплотняемого слоя. В ней создается разрежение за счет вращения перфорированного диска 2, который перемещает воздух из центральной части камеры к ее периферии и удаляет его через отверстия 10 в боковых стенках. Эксперименты показывают, что в результате разрежения в пределах 10–15 кПа повышается эффективность уплотнения АБ смеси в зоне воздействия устройства. Вместе с тем следует еще раз отметить, что вакуумные технологии пока не вышли за рамки исследовательских работ.

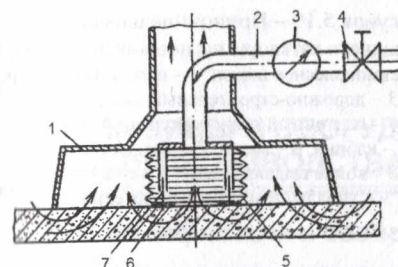


Рисунок 5.17 – Схема приспособления для вакуумной обработки АБ покрытий: 1 – вакуумная камера; 2 – патрубок; 3 – регистрирующий прибор; 4 – дроссель; 5 – гофрированная труба; 6 – опорный фланец; 7 – направляющая

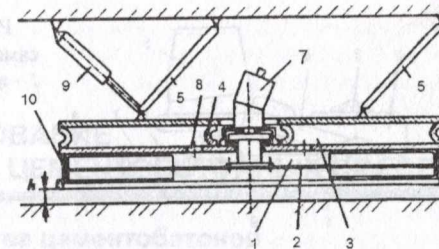


Рисунок 5.18 – Схема бесконтактного вакуумного устройства: 1 – нижняя камера; 2 – перфорированный лопаточный диск; 3 – верхняя камера; 4 – боковая стенка; 5 – тяги; 6 – рама катка; 7 – гидромотор; 8 – отверстие; 9 – гидроцилиндр; 10 – отверстие в боковой стенке

Перспективными представляются результаты исследования *влияния электрических полей на активацию уплотнения дорожно-строительных материалов, содержащих остаточную влагу*. Установлено, что под воздействием постоянного электрического поля в уплотняемом материале происходит электроосмотическое движение жидкости в его капиллярах. При этом она переходит из связанного в свободное состояние, что сопровождается облегчением деформирования материала и ускорением его уплотнения из-за снижения сил внутреннего трения его частиц.

Как известно, АУ производит укладку и частичное уплотнение смеси, а каток довершает уплотнение. Имеются концептуальные предложения по совмещению процессов укладки и уплотнения, их объединению в единый технологический процесс. Одно из них состоит в изменении направления укатки и создании так называемой *нагнетающей укладки*. На рисунке 5.19 представлена принципиальная схема катка, с помощью которого реализуют эту укладку. Как видно из рисунка 5.19, каток оснащен узлом приема и подачи материала (в виде приемного бункера 2 и ленточного питателя 4) и механизмом укатки материала (в виде бункера-течки 7 и нескольких вальцов 6). Вальцы 6, установленные вдоль полосы в ряд, вместе с бункером совершают возвратно-поступательное движение поперек уплотняемой полосы. Материал через бункер-течку поступает на дорожное полотно перед вальцами, которые выдавливают его излишки по ходу движения катка.

После этого перемещают каток вслед за образовавшейся волной материала. За катком образуется полоса материала с высокой, как полагают авторы, степенью уплотнения. Ширина укладываемой полосы определяется шириной бункера-течки и ходом перемещения вальцов. Совмещение процессов укладки, разравнивания и уплотнения может значительно сократить производственные затраты за счет уменьшения количества используемой техники.

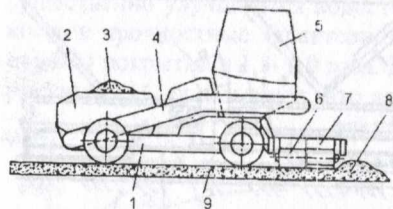


Рисунок 5.19 – Принципиальная схема самоходного катка для нагнетающей укладки:
1 – пневмоколесное шасси; 2 – приемный бункер;
3 – дорожно-строительный материал;
4 – ленточный транспортер-питатель;
5 – кабина; 6 – валец; 7 – бункер-течка;
8 – волна выдавливаемого материала;
9 – укладываемая полоса материала

Расчеты катков с гладкими вальцами и пневмоколесными шинами представлены в первой части учебника.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое дорожная одежда? Изобразите структуру дорожной одежды и дайте характеристику ее основных слоев.
- 2 Дайте определения асфальто- и цементобетонной смеси, а также асфальто- и цементобетону.
- 3 Какие операции составляют технологию строительства земляного полотна, оснований и покрытий?
- 4 Какие машины следует использовать при строительстве земляного полотна, оснований и покрытий?
- 5 Какие машины используют при устройстве асфальтобетонных покрытий по традиционной технологии укладки смеси, по непрерывной (скоростной) и технологии «компакт-асфальт»?
- 6 Классифицируйте асфальтоукладчики по основным признакам.
- 7 Назовите достоинства и недостатки гусеничных и пневмоколесных укладчиков асфальта.
- 8 Дайте характеристику рабочим органам асфальтоукладчика.
- 9 Какие рабочие элементы входят в состав систем предварительного и высокого уплотнения?
- 10 Как увеличивают ширину укладки в современных моделях асфальтоукладчиков?
- 11 Какие сопротивления следует учитывать в тяговом расчете рабочего режима укладчика?
- 12 Напишите формулу для определения сопротивления силам трения рабочих органов укладчика по смеси.
- 13 Как определить производительность асфальтоукладчика с учетом необходимости согласованности работы рабочих органов (бункера, питателей и шнеков)?
- 14 Оцените баланс мощности асфальтоукладчика.
- 15 Назовите и прокомментируйте основные направления развития асфальтоукладчиков.
- 16 Классифицируйте дорожные катки по основным признакам.
- 17 Как вальцы статического и вибрационного типа воздействуют на асфальтобетонную смесь?

6 МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

6.1 Классификация и свойства цементобетонных

Для строительства автомобильных дорог I–III категорий, а также взлетно-посадочных полос аэродромов используют цементобетон. Цементобетоном называют композиционный каменный материал, который получают в результате перемешивания, укладки, уплотнения и затвердевания смеси из щебня (или гравия), песка, цемента, воды и специальных добавок при заданном соотношении этих компонентов. **Цементобетонная смесь** – это смесь перечисленных компонентов до затвердевания. **Сухой цементобетонной смесью** называют смесь этих же компонентов, но без воды.

В соответствии со стандартом СТБ 1310–2002 «Бетоны. Классификация. Общие технические требования» бетоны классифицируют по ряду признаков, в том числе по средней плотности, назначению, виду вяжущего, виду заполнителей, структуре и др.

По средней плотности ρ_c , кг/м³, бетоны разделяют:

- на особо тяжелые – $\rho_c > 2500$;
- тяжелые – 2000...2500;
- легкие – 600...2000;
- особо легкие – < 600 .

По назначению бетоны разделяют на конструкционные, предназначенные для бетонных и железобетонных конструкций и зданий, и специальные, в числе которых дорожные – для автомобильных дорог.

Дорожные цементобетоны являются разновидностью тяжелых бетонов, их применяют для устройства покрытий и оснований дорожной одежды автомобильных дорог.

Основными характеристиками дорожного цементобетона являются *прочность, морозостойкость, водопроницаемость и водопоглощение*.

Прочностные характеристики бетона зависят от свойств заполнителей и вяжущих материалов, а также от соотношения концентраций воды (В) и цемента (Ц) (его называют *водоцементным отношением* – В/Ц). На рисунке 6.1 представлена зависимость прочности при сжатии цементобетона от водоцементного отношения. Как видно, эта зависимость носит экстремальный характер, что требует точной дозировки компонентов. При малой величине В/Ц, т. е. при небольшом содержании воды, смесь трудно уплотнить, что

сказывается на прочности бетона. С увеличением содержания воды прочность бетона возрастает, достигая максимальных значений при оптимальном водоцементном отношении. При дальнейшем увеличении содержания воды прочность бетона снижается, поскольку избыточная вода ухудшает его структуру.

Водопоглощение бетона составляет от 3 до 10 мас. % и влияет на его плотность. При увеличении содержания заполнителей оно уменьшается.

Основными вяжущими дорожного бетона являются непластифицированный и пластифицированный портландцемент, а также гидрофобный портландцемент без минеральных добавок. Для оснований дорожной одежды используют также портландцемент с минеральными добавками и шлакопортландцемент.

Портландцемент – это измельченный порошок обожженного до спекания мергеля (полускального грунта, состоящего из известняка и глины).

В качестве заполнителей используют в основном щебень, гравий и щебень из гравия, а также щебень из доменного шлака. Размер зерен щебня и гравия зависит от типа дорожной одежды: для верхнего слоя двухслойных покрытий – не более 20 мм, для однослойных и нижнего слоя двухслойных покрытий – не более 40 мм, для основания – не более 70 мм.

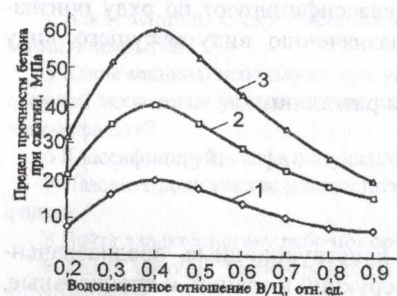


Рисунок 6.1 – Влияние водоцементного отношения на прочность при сжатии дорожного бетона на основе цемента марки:

1 – М200; 2 – М400; 3 – М600

Технические условия», согласно которому к ним предъявляют специальные требования для обеспечения прочности и долговечности цементобетона.

Удобоукладываемость смеси оценивают ее подвижностью или жесткостью. Подвижность смеси – это ее способность за определенное время деформироваться под действием собственного веса. Жесткость смеси – это ее способность сопротивляться уплотняющему воздействию вибрации (с частотой 50 Гц и амплитудой 0,5 мм). Удобоукладываемость выбирают в зависимости от способа ее распределения и уплотнения, размеров объекта и степени его армирования. В зависимости от этой характеристики смеси разделяют на жесткие, подвижные, пластичные и литые.

В зависимости от типа дорожного покрытия выбирают проектные классы дорожного бетона по прочности на сжатие, осевое растяжение и растяжение при изгибе.

6.2 Оборудование для приготовления цементобетонных смесей

Стабильность физико-механических характеристик цементобетонных изделий является определяющим фактором долговечности изделий из них, включая покрытия и профили. В свою очередь, она зависит от однородности цементобетонных смесей, которая определяется точностью дозировки компонентов и равномерностью их распределения.

Цементобетонная смесь – это состав, состоящий из минерального вяжущего (цемента), воды и минеральных заполнителей (песка, щебня или гравия), который при заданном соотношении компонентов после отверждения цемента превращается в цементобетон необходимой прочности и долговечности.

Приготовление цементобетонных смесей является ответственным и трудоемким этапом создания бетонных изделий. Он включает две основные операции: дозирование компонентов и их смешивание. Для дозирования компонентов используют вспомогательное оборудование. Для смешивания компонентов применяют специальные устройства – бетоносмесители. Дозировочное оборудование может быть агрегатировано со смесителем или же выполнено как самостоятельная единица в составе бетонного завода.

Бетоносмесители классифицируют по ряду основных признаков:

- 1) по характеру работы – циклического и непрерывного действия;
- 2) по принципу смешивания компонентов – с принудительным, свободным (гравитационным) и комбинированным смешиванием;
- 3) по способу загрузки – скиповым ковшом, специальным дозатором, загрузочной воронкой, ручной загрузкой;
- 4) по степени мобильности – стационарные и передвижные установки;
- 5) по степени автоматизации – неавтоматизированные, полуавтоматизированные и автоматизированные с программным управлением;
- 6) по типу управления – с ручным, электромеханическим, гидравлическим и пневматическим управлением.

На рисунке 6.2 представлены принципиальные схемы перемешивания компонентов в смесительных установках. Смесители циклического действия (см. рисунок 6.2, а–г) работают последовательными циклами, каждый из которых включает загрузку компонентов, их перемешивание и выгрузку готовой смеси. Главным параметром смесителей циклического действия является объем гото-

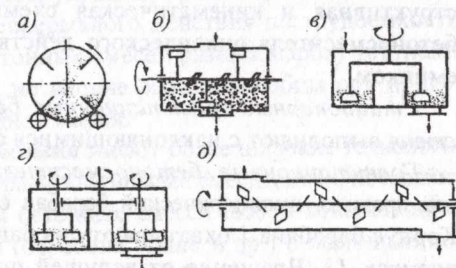


Рисунок 6.2 – Схемы перемешивания компонентов в смесительных агрегатах: а–г – циклического действия; д – непрерывного действия

вой смеси. На постсоветском пространстве выпускают бетоносмесители девяти типоразмеров с объемом готовой смеси от 65 до 3000 л (из них три – передвижные, шесть – стационарные).

В *смесителях непрерывного действия* (см. рисунок 6.2, д) загрузку компонентов, их перемешивание и выгрузку готовой смеси производят одновременно и непрерывно. Главным параметром смесителей непрерывного действия является их производительность, т. е. объем смеси, выработанной за единицу времени. Эти машины отличаются большой производительностью, поэтому их применяют для приготовления больших объемов бетонной смеси одной марки.

Мобильность смесителей связана с объемами работ. *Передвижные смесители* используют на объектах с небольшими объемами бетонных работ, а *стационарные* входят в состав технологических линий бетоно-смесительных установок заводов.

Для смешивания используют *свободное* и *принудительное* смешение компонентов.

Гравитационные бетоносмесители имеют простую конструкцию, отличаются малой энергоемкостью, простотой обслуживания и эксплуатации. Смешивание компонентов (см. рисунок 6.2, а) происходит в результате подъема и свободного падения смеси внутри вращающегося барабана, снабженного лопастями на внутренней поверхности.

Передвижные гравитационные бетоносмесители циклического действия оборудованы ковшовыми подъемниками для загрузки предварительно отдозированных сухих компонентов в смесительные барабаны и устройствами для дозирования воды. На рисунке 6.3 представлены конструктивная и кинематическая схемы передвижного гравитационного бетоносмесителя циклического действия с загрузочным скиповым подъемником.

Стационарные гравитационные бетоносмесители циклического действия выполняют с наклоняющимися смесительными барабанами.

Гравитационные бетоносмесители непрерывного действия имеют, как правило, цилиндрический барабан с горизонтальной осью (рисунок 6.4). Корпус барабана 1 охватывают два банджа 2, установленные на опорных роликах 13. Вращение от ведущей шестерни 12, соединенной через редуктор 11 с двигателем 8, передают на барабан через зубчатый венец 5, прикрепленный к бандажу. Исходные сухие компоненты загружают в барабан через загрузочную воронку 7 и с помощью лопастей 3 перемешивают, одновременно перемещая смесь к разгрузочному люку. Воду и добавки разбрызгивают из струйно-распылительного устройства 4, соединенного с дозаторами б.

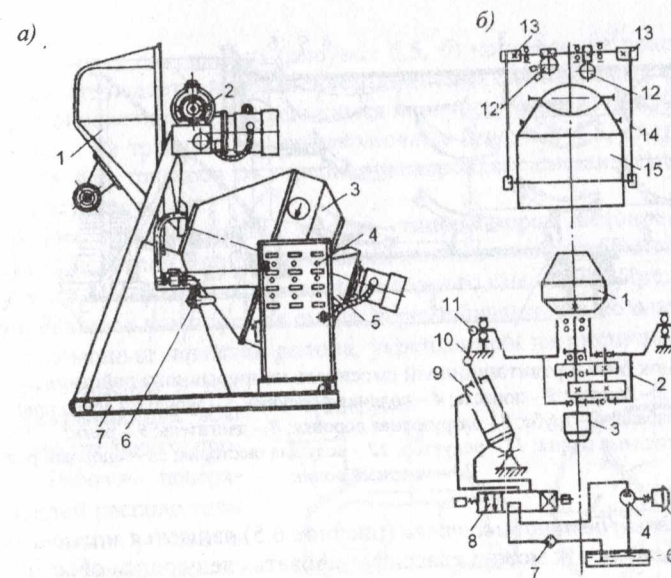


Рисунок 6.3 – Гравитационный смеситель циклического действия:
а – общий вид;

1 – скиповый ковш; 2 – механизм подъема ковша; 3 – смесительный барабан;
4 – пульт управления; 5 – привод барабана; 6 – система водоснабжения; 7 – рама;
б – кинематическая схема:

1 – смесительный барабан; 2 – редуктор; 3 – электродвигатель механизма вращения барабана;
4 – гидронасос; 5 – электродвигатель; 6 – бак для минерального масла; 7 – фильтр;
8 – гидрораспределитель; 9 – гидроцилиндр для опрокидывания барабана; 10 – рычаг;
11 – траверса; 12 – червячная передача; 13 – барабан лебедки; 14 – канат; 15 – скиповый ковш

Их производительность регулируют, управляя производительностью дозаторов компонентов. Смесители непрерывного действия по трудоемкости переналадки (при приготовлении бетонных смесей разных марок) уступают смесителям циклического действия, но вполне работоспособны при приготовлении больших объемов смеси одной марки.

Смесители принудительного действия имеют более широкие технологические возможности по сравнению с гравитационными смесителями, поскольку способны перемешивать компоненты бетонных смесей любой консистенции. Смешивание производят в емкости (барабане, чаше и др.) с помощью лопастей, установленных на вале (см. рисунок 6.2, б, д) или на роторе (см. рисунок 6.2, в, г). Смесители с вертикальным расположением смешивающих валов в чаше цилиндрической формы называют *чашеобразными* (*тарельчатыми*), а с горизонтальным расположением валов в корытообразном корпусе – *лотковыми* (*корытообразными*).

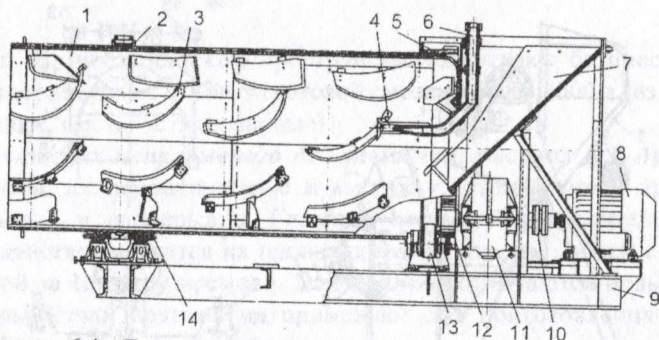


Рисунок 6.4 – Гравитационный смеситель непрерывного действия:
1 – барабан; 2 – бандаж; 3 – лопасть; 4 – водяная форсунка; 5 – зубчатый венец привода барабана; 6 – труба; 7 – загрузочная воронка; 8 – двигатель; 9 – рама;
10 – соединительная муфта; 11 – редуктор; 12 – ведущая шестерня; 13 – опорный ролик; 14 – упорный ролик

Чашеобразные бетоносмесители (рисунок 6.5) являются машинами циклического действия. Их можно классифицировать следующим образом:

- по конструкции – планетарно-роторные и роторные;
- по количеству вертикально расположенных валов – одно- и двухвальные;
- по расположению валов – с эксцентрично и концентрично расположенными валами;
- по типу перемешивающего устройства – противоточные и проточные с вращающимся или неподвижным корпусом.

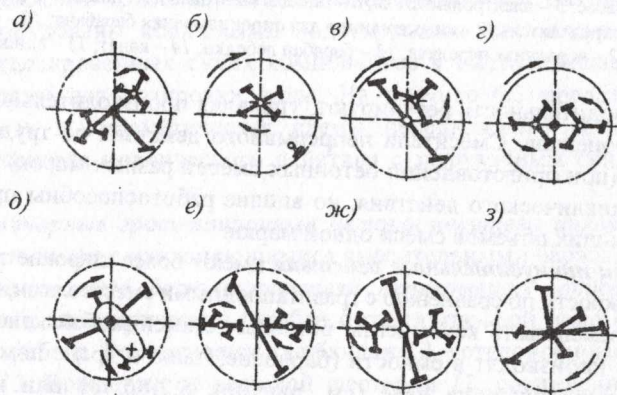


Рисунок 6.5 – Схемы чашеобразных смесителей:

- а – планетарно-роторного; б – проточного с вращающимся корпусом;
в, г – противоточного с вращающимся корпусом; д – планетарно-роторного с одним планетарным валом; е – планетарно-роторного с бегунами; ж – планетарно-роторного с двумя скребками; з – роторного

В проточных смесителях (рисунок 6.5, б) направление вращения лопастного вала совпадает с направлением движения смешиваемых компонентов, которое обеспечивают вращающимся корпусом (чашей) или лопастями, закрепленными на траверсе, в противоточных (рисунок 6.5, в, г) – вращающаяся чаша или траверса со скребками направляет смешиваемые компоненты к лопастным валам.

Стандартом предусмотрены восемь типоразмеров бетоносмесителей циклического действия с принудительным смешиванием от 65 до 3000 л.

На рисунке 6.6 представлена схема роторного смесителя. Предварительно отдозированные компоненты смеси перемешиваются в кольцевой рабочей зоне с помощью лопастей ротора, укрепленных на различном расстоянии от оси вращения и тем самым перекрывающих всю площадь смесительного пространства. Рабочие поверхности лопастей расположены под различными углами к траектории их движения.

Такая схема установки лопастей обеспечивает за счет создания продольных и поперечных потоков смешиваемых компонентов качественное перемешивание смесей любой консистенции. Смешивающие лопасти имеют амортизаторы, которые позволяют им поворачиваться даже при попадании в камеру крупных объектов.

Лотковые бетоносмесители обеспечивают приготовление любых смесей, в том числе на пористых заполнителях, имеющих плотность до 1200 кг/м³. Их можно классифицировать по следующим признакам:

- по характеру работы – циклического и непрерывного действия;
- по количеству горизонтально расположенных валов – одно- и двухвальные;
- по схеме установки лопастей на валах – с поточной и поточно-контурной.

Как правило, одновальные лотковые смесители являются машинами циклического, а двухвальные – непрерывного действия. Смесители с одним валом и выгрузкой опрокидыванием используют в основном для цементных растворов, поскольку их шнековые лопасти располагаются вблизи стенок корпуса и легко заклиниваются щебнем.

В двухвальных смесителях валы, вращающиеся в противоположных направлениях, создают оптимальные условия для ускоренного перемешивания компонентов различной плотности и крупности. Имеется несколько вариантов установки лопастей на валах.

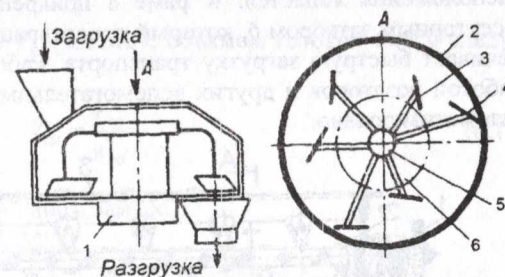


Рисунок 6.6 – Схема роторного бетоносмесителя циклического действия с принудительным перемешиванием:

- 1 – мотор-редуктор; 2 – корпус;
3, 4 – смесительные лопасти; 5 – ротор; 6 – стакан

При поточной схеме лопасти обоих валов обеспечивают однонаправленное движение смеси от загрузочного люка к разгрузочному.

При поточно-контурной схеме лопасти одного вала перемещают смесь в направлении разгрузочного люка, а другого – в обратном направлении. На рисунке 6.7 представлена схема смесителя, имеющего поточно-контурную схему расположения валов. В корпусе 3 смесителя устанавливают два лопастных вала 4, которые вращаются навстречу друг другу. Их привод состоит из электродвигателя, клиноременной передачи и редуктора (на рисунке 6.7 не показаны). Выходной вал редуктора соединяют муфтой с одним из валов смесителя. Валы синхронно вращают, обеспечивая интенсивное встречное движение смеси в поперечном направлении за счет заданного расположения лопастей. К раме 8 прикреплен накопительный бункер 7 с секторным затвором 6, который предотвращает простои смесителя и обеспечивает быструю загрузку транспорта. Работа смесителя взаимосвязана с работой дозаторов и других вспомогательных устройств, а его управление автоматизировано.

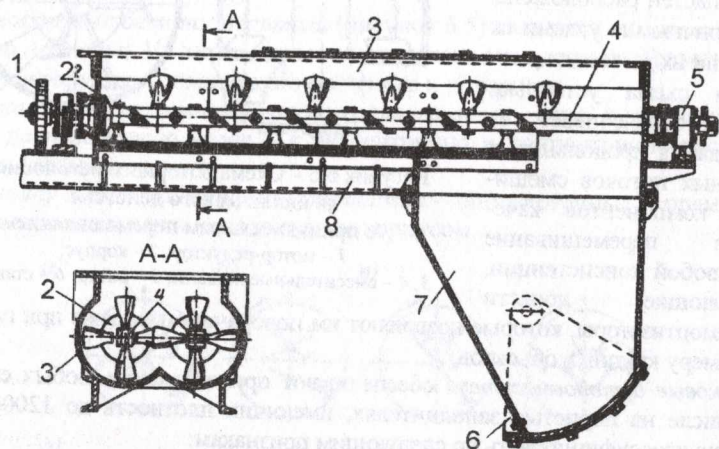


Рисунок 6.7 – Лотковый бетоносмеситель непрерывного действия с принудительным перемешиванием:

1 – зубчатое колесо; 2 – отбойный конус; 3 – корпус смесителя; 4 – лопастные валы; 5 – подшипник; 6 – секторный затвор; 7 – накопительный бункер; 8 – рама

Бетоносмесители непрерывного действия с принудительным перемешиванием используют для приготовления жестких и подвижных смесей с крупностью заполнителя до 40 мм. Двухвальные бетоносмесители выпускают четырех типоразмеров с производительностью от 5 до 60 м³/ч. Ими комплектуют передвижные бетоносмесительные установки, которые обслуживают крупные объекты с большим потреблением цементобетонных смесей.

По удельной энергоемкости, кВт/м³, бетоносмесители имеют следующие показатели. Наименьшей энергоемкостью (1,1–1,3) обладают гравитационные смесители, затем следуют лотковые (3,2–3,4) и чашеобразные (3,5–4,0) смесители принудительного действия.

Расчет основных параметров бетоносмесителей. В гравитационных бетоносмесителях циклического действия смешивание происходит под воздействием внутренних стенок барабана, а также смешивающих элементов.

Главным параметром бетоносмесителя циклического действия является объем готовой смеси. Как было отмечено, имеется девять типоразмеров гравитационных смесителей циклического действия с объемом готовой смеси от 65 до 3000 л.

Объем сухих компонентов $V_{ск}$ связан с объемом готовой смеси следующим соотношением:

$$V_{ск} = \frac{V_{гс}}{K_{вс}}, \quad (6.1)$$

где $V_{гс}$ – объем готовой смеси в одном замесе, л;

$K_{вс}$ – коэффициент выхода смеси,

$$K_{вс} = \begin{cases} 0,65 \dots 0,70 & \text{– для бетонных смесей,} \\ 0,85 \dots 0,95 & \text{– для растворов.} \end{cases}$$

Вместимость смесительного барабана $V_{сб}$, в свою очередь, связана с объемом сухих компонентов соотношением

$$V_{сб} = (2 \dots 3) V_{ск}. \quad (6.2)$$

Объем сухих компонентов, т. е. вместимость бетоносмесителя по загрузке, является основным параметром, влияющим на геометрические характеристики барабана. Для их определения существует ряд эмпирических зависимостей, позволяющих спроектировать барабан.

Геометрические характеристики лопастного устройства выбирают, исходя из принятого вида потокообразования смеси и углов установки лопастей. Высота лопастей h_x , м, зависит от конфигурации барабана, требуемого зазора между стенками барабана и днищем, а также необходимости перекрытия зон смешивания компонентов. Она также связана с диаметром барабана:

$$h_x = \left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{6} \right) D_x, \quad (6.3)$$

где D_x – диаметр сечения барабана в месте определения высоты лопасти, м.

Частоту вращения барабана выбирают с учетом необходимости предотвращения отрицательного воздействия центробежных сил на частицы компонентов при смешивании. В инженерных расчетах барабанов коническо-цилиндрической формы для определения частоты их вращения, мин⁻¹, используют формулу

$$n = \sqrt{\frac{400}{D_{\text{цил}}}}, \quad (6.4)$$

где $D_{\text{цил}}$ – диаметр цилиндрической части барабана, м.

Мощность силовой установки гравитационного бетоносмесителя (с двухконусным барабаном) на привод вращения барабана расходуется на следующие основные сопротивления:

- 1) на подъем смешиваемых компонентов в барабане;
- 2) силы трения от качения бандажей по опорным роликам;
- 3) силы трения в подшипниках качения роликов;
- 4) силы сопротивления в трансмиссии.

Для определения сил сопротивления, возникающих при вращении барабана, используют схемы, представленные на рисунке 6.8.

При вращении барабана происходит подъем и смещение материала (его центра масс) на угол, величина которого зависит от подвижности смеси.

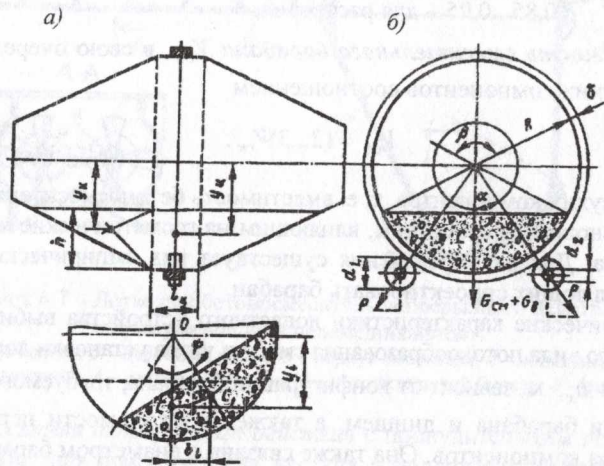


Рисунок 6.8 – Схемы для расчета мощности привода барабана гравитационного смесителя циклического действия

Считают, что угол смещения равен углу естественного откоса материала ($\psi = 40...45^\circ$).

Сила сопротивления от подъема и смещения материала в барабане, приведенная к ободу бандажа, Н,

$$W_{\text{см}} = \frac{G_{\text{ц}} b_{\text{ц}} + G_{\text{к}} b_{\text{к}}}{R + \delta}, \quad (6.5)$$

где $G_{\text{ц}}$ и $G_{\text{к}}$ – силы тяжести смеси в цилиндрической и конических частях барабана, Н;

$b_{\text{ц}}$ и $b_{\text{к}}$ – плечи сил тяжестей смеси в цилиндрической и конической частях барабана, м;

R – радиус барабана, м;

δ – толщина бандажа, м.

Сила тяжести смеси в цилиндрической части барабана, Н,

$$G_{\text{ц}} = \rho_{\text{с}} g F_{\text{ц}} l_{\text{ц}}, \quad (6.6)$$

где $\rho_{\text{с}}$ – насыпная плотность сухой смеси, $\rho_{\text{с}} = 1400...1500$ кг/м³;

$F_{\text{ц}}$ – площадь сечения смеси в цилиндрической части барабана, м²;

$l_{\text{ц}}$ – длина цилиндрической части барабана, м.

Площадь $F_{\text{ц}}$ определяют как площадь кругового сегмента, м²,

$$F_{\text{ц}} = \frac{R^2}{2} (\beta - \sin \beta), \quad (6.7)$$

где β – угол, рад.

Силу тяжести смеси в конических частях барабана определяют как разность между силами тяжести смеси (сухих компонентов) при начальной загрузке $G_{\text{заг}}$ и в цилиндрической части $G_{\text{ц}}$ барабана, Н,

$$G_{\text{к}} = G_{\text{заг}} - G_{\text{ц}}, \quad (6.8)$$

где $G_{\text{заг}} = \rho_{\text{с}} g V_{\text{ск}}$.

С использованием схем, приведенных на рисунке 6.8, можно определить плечи сил тяжестей в цилиндрической и конической частях смесительного барабана. Так, плечо в цилиндрической части

$$b_{\text{ц}} = y_{\text{ц}} \sin \psi, \quad (6.9)$$

где $y_{\text{ц}}$ – расстояние от оси барабана до центра масс кругового сегмента, который занимает смесь в цилиндрической части барабана, м,

$$y_{\text{ц}} = \frac{4R \sin^3 \frac{\beta}{2}}{3(\beta - \sin \beta)}.$$

Плечо силы тяжести смеси в конической части барабана

$$b_k = y_k \sin \psi, \quad (6.10)$$

$$y_k = R - \frac{2h}{3},$$

где y_k – расстояние от оси барабана до центра масс материала в конической части барабана, м;

h – толщина слоя смеси, м.

Силы трения от качения бандажа по опорным роликам и в подшипниках скольжения роликов, приведенные к ободу бандажа, Н,

$$W_{тр} = \frac{G_{см} + G_6}{\cos \alpha} \left(\frac{k_{кач}}{R + \delta} + \mu_1 \frac{d_2}{d_1} \right), \quad (6.11)$$

где G_6 – сила тяжести барабана, Н;

α – угол установки роликов, $\alpha = 30^\circ$;

$k_{кач}$ – коэффициент трения качения, $k_{кач} = 0,002 \dots 0,005$;

μ_1 – коэффициент трения скольжения в подшипниках опорных роликов;

d_1 – диаметр ролика, м;

d_2 – диаметр оси ролика, м.

Мощность привода вращения смесительного барабана, кВт,

$$N = 10^{-3} \frac{(W_{см} + W_{тр})v}{\eta_{тр}}, \quad (6.12)$$

Где v – окружная скорость бандажа барабана, м/с;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии барабана.

В бетономесителях принудительного действия роторного типа мощность привода смешивающего агрегата зависит от его конструктивных параметров, в том числе от конфигурации и ориентации лопастей, объема и реологических характеристик смеси, частоты взаимодействия компонентов с лопастями и др. Она расходуется на преодоление сопротивлений, связанных с деформированием смеси и ее перемещением в корпусе смесителя. Для инженерных расчетов используют методику, основанную на оценке всех видов сопротивления с помощью коэффициентов удельного сопротивления, полученных экспериментальным путем.

При проектировании бетономесителей циклического действия, как правило, используют эмпирические зависимости, связывающие основные конструктивные параметры.

Наружный диаметр корпуса смесителя, м,

$$D_{max} = \sqrt{\frac{4V_{гс}}{\pi h}}, \quad (6.13)$$

где $V_{гс}$ – объем готовой смеси в одном замесе, m^3 ;

h – высота слоя смеси в корпусе бетономесителя, м.

Средний диаметр кольцевого смесительного пространства, м,

$$D_{ср} = 0,66 D_{max}.$$

Диаметр внутреннего кольца, м,

$$d_{min} = 2D_{ср} - D_{max}. \quad (6.14)$$

Мощность двигателя для вращения ротора, кВт,

$$N = 10^{-3} \frac{M \omega_p}{\eta_{пр}}, \quad (6.15)$$

где M – суммарный крутящий момент на лопадном валу, $кН \cdot м$;

ω_p – угловая скорость ротора, c^{-1} ,

$$\omega_p = 2 \frac{v_{ср}}{D_{ср}}, \quad (6.16)$$

$v_{ср}$ – окружная скорость условной средней лопасти, ограниченной средним диаметром кольцевого смесительного пространства, м/с,

$$v_{ср} = \frac{2}{3} v_{кр}, \quad (6.17)$$

$v_{кр}$ – критическая средняя скорость для условной средней лопасти, зависящая от объема готовой смеси, м/с,

$$v_{кр} = \begin{cases} 2,04 - \text{для } V_{гс} = 0,165 \text{ м}^3, \\ 3,39 - \text{для } V_{гс} = 2,0 \text{ м}^3; \end{cases}$$

$\eta_{пр}$ – КПД привода ротора

Суммарный крутящий момент на лопадном валу, $кН \cdot м$,

$$M = k_{сс} \sum S_l \frac{1}{2} D_{ср}, \quad (6.18)$$

где k_{cc} – коэффициент сопротивления смеси, кПа;

ΣS_n – суммарная фронтальная поверхность лопастей, m^2 ,

$$\Sigma S_n = \frac{V_{зам} \lambda}{v_{cp}}, \quad (6.19)$$

λ – угловая скорость условной средней лопасти, $\lambda = 0,45 \dots 0,65 \text{ с}^{-1}$.

Производительность бетоносмесителя зависит от вместимости барабана и продолжительности процесса перемешивания, которая, в свою очередь определяется соотношением основных компонентов в смеси, т. е. цемента и воды. Как правило, время приготовления обычной бетонной смеси составляет 60–150 с, жесткой – до 240 с.

Эксплуатационная производительность бетоносмесителей циклического действия, $m^3/ч$,

$$P_{ц} = 3,6 \frac{k_b V_{гс}}{T_{ц}}, \quad (6.20)$$

где k_b – коэффициент использования машины по времени, $k_b = 0,65 \dots 0,70$;

$V_{гс}$ – объем готовой смеси, л;

$T_{ц}$ – время цикла,

$$T_{ц} = t_3 + t_c + t_b,$$

t_3 – продолжительность загрузки барабана, $t_3 = 10 \dots 20 \text{ с}$;

t_c – продолжительность смешивания компонентов, $t_c = 60 \dots 90 \text{ с}$;

t_b – продолжительность выгрузки готовой смеси и возврата барабана в исходное положение, $t_b = 10 \dots 20 \text{ с}$.

Для **лопастных бетоносмесителей непрерывного действия с принудительным перемешиванием** мощность силовой установки складывается из мощности, затрачиваемой на вращение вала с лопастями $N_{вр}$, и мощности, необходимой для транспортирования смеси $N_{тр}$:

$$N = \frac{N_{вр} + N_{тр}}{\eta_{пр}}, \quad (6.21)$$

где $\eta_{пр}$ – КПД привода.

Мощность привода вращения вала с лопастями, кВт,

$$N_{вр} = \frac{10^{-3}}{2} k_{сд} k_3 b \cos \gamma (R_n^2 - R_b^2) \omega z, \quad (6.22)$$

где $k_{сд}$ – коэффициент удельного сопротивления движению лопасти в смеси, N/m^2 ,

$$k_{сд} = \begin{cases} 3,0 \cdot 10^4 & \text{– для пластичных смесей,} \\ 5,5 \cdot 10^4 & \text{– для жестких смесей;} \end{cases}$$

k_3 – коэффициент заполнения смесью барабана смесителя;

b – ширина лопасти, м;

γ – угол между плоскостью лопасти и осью вала;

R_n, R_b – наружный и внутренний радиусы лопасти, м;

ω – угловая скорость вращения вала, рад/с;

z – число лопастей на валу.

Мощность, необходимая для транспортирования смеси, кВт,

$$N_{тр} = \frac{10^{-6}}{3,6} k_{пер} \rho_c g L P_n, \quad (6.23)$$

где $k_{пер}$ – коэффициент сопротивления перемещению смеси, $k_{пер} = 4,0 \dots 5,5$;

L – длина смесительной камеры, м;

P_n – производительность смесителя непрерывного действия, $m^3/ч$.

Эксплуатационная производительность лопастных бетоносмесителей непрерывного действия, $m^3/ч$,

$$P_n = 3,6 \cdot 10^3 k_b k_{зап} \frac{\pi D^2}{4} t n, \quad (6.24)$$

где $k_{зап}$ – коэффициент заполнения сечения корпуса смесителя, $k_{зап} = 0,5 \dots 0,6$;

D – диаметр окружности, описываемой лопастями, м;

t – шаг расположения лопастей, м;

n – частота вращения лопастного вала, c^{-1} .

Для **бетоносмесителей непрерывного действия** число смесительных валов является определяющим фактором при оценке их параметров.

Основные характеристики **одновалных смесителей** можно определить, зная их главный параметр, т. е. объем готовой смеси, по следующим эмпирическим зависимостям:

$$m = 4,3 V_{гс}^{0,98}; \quad N = 36 V_{гс}^{1,05}; \quad L = 1,35 V_{гс}^{0,35}; \quad R = 0,7 V_{гс}^{0,4}, \quad (6.25)$$

где m – масса смесителя, т;

$V_{гс}$ – объем готового замеса, m^3 ;

N – мощность двигателя, кВт;

L – длина корпуса, м;

R – радиус окружности, описываемой лопастями, м.

Мощность привода двухвального лопастного смесителя, кВт,

$$N_{\text{дв}} = (28 \dots 30) \frac{L}{d_{\text{л}}} n^{-0.3} d_{\text{л}}^{2.3}, \quad (6.26)$$

где L – длина смесителя, м;

$d_{\text{л}}$ – диаметр лопасти, м;

n – частота вращения валов, мин^{-1} .

Основные характеристики *двухвальных смесителей* также связаны с их главным параметром (объемом готовой смеси $V_{\text{гс}}$) эмпирическими зависимостями:

$$\begin{aligned} m &= 5,1 V_{\text{гс}}^{0.75}, \quad N = 34 V_{\text{гс}}^{0.98}, \quad L = 1,55 V_{\text{гс}}^{0.3}, \\ a &= 0,85 V_{\text{гс}}^{0.3}, \quad R = 0,55 V_{\text{гс}}^{0.3}, \end{aligned} \quad (6.27)$$

где m – масса смесителя, т;

$V_{\text{гс}}$ – объем готового замеса, м^3 ;

N – мощность двигателя, кВт;

L – длина корпуса, м;

a – межосевое расстояние валов, м;

R – радиус окружности, описываемой лопастями, м.

6.3 Бетонные заводы и бетоносмесительные установки

Для приготовления больших объемов цементобетонных смесей применяют бетонные заводы. Их классифицируют по ряду основных признаков:

1) *по продолжительности действия* – стационарные, полустационарные (инвентарные) и передвижные;

2) *по компоновке технологического оборудования* – башенные и партерные;

3) *по характеру работы* – циклического и непрерывного действия;

4) *по типу управления* – с местным, дистанционным и автоматизированным управлением;

5) *по типу технологического процесса* – с законченным, расчлененным и комбинированным технологическим циклом.

Продукцией заводов и установок с законченным циклом является готовая бетонная смесь, с расчлененным – сухая смесь, с комбинированным – как готовая, так и сухая смесь. Сухую смесь используют при большом удалении строительного объекта от смесительной установки.

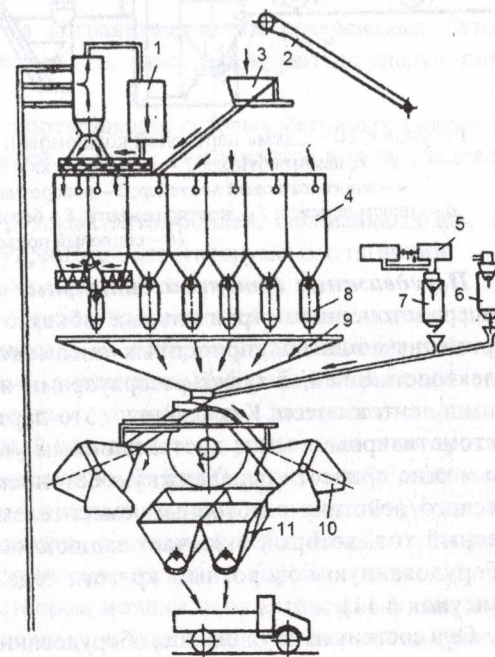
Стационарные заводы большой производительности обеспечивают цементобетонной смесью крупные объекты дорожного, промышленного и гражданского строительства. Они рассчитаны на постоянную эксплуатацию на одном месте в течение длительного времени. Поэтому установки подключают к стационарным коммуникационным сетям (электрическим, газовым, водопроводным, канализационным и др.), а агрегаты монтируют на капитальных фундаментах.

Инвентарные заводы рассчитаны на эксплуатацию на одном месте в течение 2–3 лет. У них достаточно большая производительность (до $240 \text{ м}^3/\text{ч}$), поэтому каркасную раму устанавливают на фундаменте. Как правило, их подключают к стационарным муниципальным сетям на временной основе. Агрегаты инвентарных бетоносмесительных установок объединяют в блоки, размеры которых вписываются в транспортные габариты. Их монтаж или демонтаж производят в течение нескольких смен.

В **установках башенного типа** технологическое оборудование располагают по вертикали, т. е. исходные компоненты смеси поднимают и подают в расходные бункеры только один раз. Такие установки имеют значительную высоту (до 30 м), но небольшие размеры в плане. Дальнейшее продвижение материалов по отдельным операциям технологического цикла осуществляется под действием гравитационных сил. Завод с башенной компоновкой оборудования содержит следующие блоки: верхний распределительный, дозирочный, смесительный и раздаточный (рисунок 6.9).

Рисунок 6.9 – Схема башенной компоновки оборудования бетонного завода:

- 1 – пневмотранспортная установка подачи цемента;
- 2 – ленточный конвейер подачи минеральных материалов;
- 3 – распределительное устройство;
- 4 – расходные бункеры для сухих компонентов;
- 5 – баки для воды;
- 6 – дозатор хлористого кальция;
- 7 – дозатор воды;
- 8 – дозаторы сухих компонентов;
- 9 – загрузочное устройство;
- 10 – бетоносмесители;
- 11 – раздаточный бункер



В **установках партерного типа** сухие компоненты смеси в ходе технологического процесса поднимаются дважды: сначала в расходные бункеры, затем в бетоносмеситель (рисунок 6.10). Поэтому их нередко называют двухступенчатыми. Эти установки имеют небольшую высоту, но большие площади для размещения оборудования.

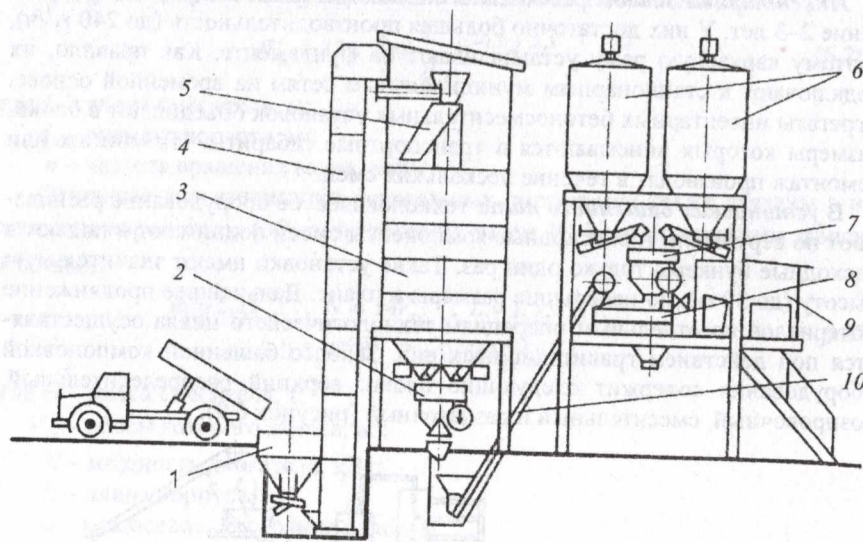


Рисунок 6.10 – Схема партерной компоновки оборудования бетонного завода:
1 – приемный бункер; 2 – дозатор песка и щебня; 3 – расходный бункер;
4 – многоковшовый конвейер; 5 – поворотная распределительная колонка;
6 – силосы цемента; 7 – дозатор цемента; 8 – бетоносмеситель; 9 – пульт управления;
10 – скиповый подъемник

Передвижные бетоносмесительные установки предназначены для рассредоточенных строительных объектов. Их агрегаты монтируют на прицепных или полуприцепных пневмоколесных шасси и комплектуют электростанцией, а также резервуарами и бункерами для воды и сухих компонентов смеси. Как правило, это партерные мобильные установки с автоматизированным и дистанционным управлением. В качестве примера можно привести передвижную бетоносмесительную установку циклического действия с роторным смесителем. Установка имеет пневмоколесный ход, который включает заднюю ось и переднюю подкатную ось, оборудованную поворотным кругом, седельным устройством и дышлом (рисунок 6.11).

Она состоит из двух блоков, оборудованных подъемными устройствами:
– основного, который включает смеситель, весовые дозаторы воды, цемента и заполнителей, кабину оператора с пультом управления, а также трехсекторный склад заполнителей (емкостью 25 м^3);
– вспомогательного, который включает склад цемента (12 м^3) с бункером, винтовым конвейером, затвором, механизмом подъема бункера, фильтром и сводообрушителем.

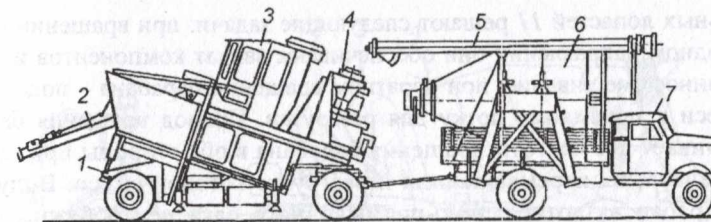


Рисунок 6.11 – Схема передвижной установки в транспортном положении:
1 – трейлер; 2 – скреперное загрузочное устройство; 3 – кабина управления; 4 – смеситель;
5 – винтовой конвейер; 6 – силос цемента; 7 – автомобиль

Система управления установки обеспечивает автоматический режим работы и наладочный ручной.

6.4 Автобетоносмесители

Автобетоносмесители относятся к гравитационным реверсивным бетоносмесителям циклического действия. Их классифицируют по следующим основным признакам:

- 1) *по назначению* – для транспортирования готовых бетонных смесей и для приготовления бетонных смесей из сухих компонентов в пути следования;
- 2) *по типу шасси* – шасси грузовых автомобилей, специальных шасси автомобильного типа или на полуприцепах, агрегируемых с тягачами;
- 3) *по виду разгрузки* – с задней и передней разгрузкой.

подавляющее большинство автобетоносмесителей имеет заднюю разгрузку. Такие машины имеют шасси, на которое устанавливают рабочее оборудование. Оно включает раму, смесительный барабан с приводом его вращения и загрузочно-разгрузочным устройством, дозировочно-промывочный бак, водяной центробежный насос, систему управления и контрольно-измерительные приборы. Смесительный барабан, установленный под наклоном, имеет три точки опоры: в передней части он через цапфу опирается на главный опорный подшипник, а в задней через бандаж – на два опорных ролика. Привод вращения смесительного барабана может быть механическим (рисунок 6.12) с отбором мощности от автономного двигателя через систему механических передач, а также гидромеханическим (рисунок 6.13) с различными вариантами отбора мощности через гидростатическую передачу: от автономного двигателя, от двигателя базового шасси или от коробки отбора мощности трансмиссии шасси.

На рисунке 6.12 представлена кинематическая схема автобетоносмесителя с механическим приводом смесительного барабана. С помощью двух

спиральных лопастей 11 решают следующие задачи: при вращении барабана 9 в одном направлении они обеспечивают захват компонентов и их гравитационное смешивание; при обратном вращении барабана – подачу готовой смеси к приемному лотку для разгрузки. Привод вращения барабана обеспечивает две частоты вращения барабана в обе стороны при загрузке компонентов, их перемешивании и разгрузке готовой смеси. Воду подают в барабан из дозирочно-промывочного бака центробежным насосом 1 через сопло в загрузочной воронке. Насос приводят от двигателя 3 через карданный вал 4 и клиноременную передачу 2.

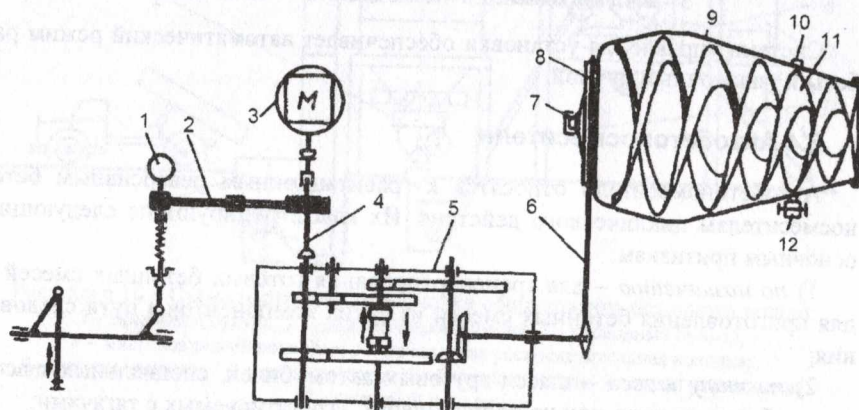


Рисунок 6.12 – Кинематическая схема автобетоносмесителя с механическим приводом барабана:

1 – центробежный насос для подачи воды; 2 – клиноременная передача; 3 – двигатель; 4 – карданный вал; 5 – реверсивный редуктор; 6 – цепная передача; 7 – центральная цапфа; 8 – ведомая звездочка цепной передачи; 9 – барабан; 10 – бандаж; 11 – спиральные лопасти; 12 – опорные ролики

Автобетоносмесители с гидравлическим приводом (см. рисунок 6.13) имеют возможность бесступенчатого регулирования частоты вращения смесительного барабана в диапазоне от 0 до 20 мин⁻¹. В этом случае привод барабана осуществляют через планетарный редуктор от гидромотора и регулируемого гидронасоса, который получает вращение от коробки отбора мощности через карданный вал.

В Беларуси автобетоносмесители различных типоразмеров выпускает Могилевский автозавод на базе шасси МАЗ и МЗКТ. Их технические характеристики представлены в таблице 6.3. Типоразмерный ряд включает четыре типоразмера (с вместимостью смесительного барабана от 4 до 10 м³).

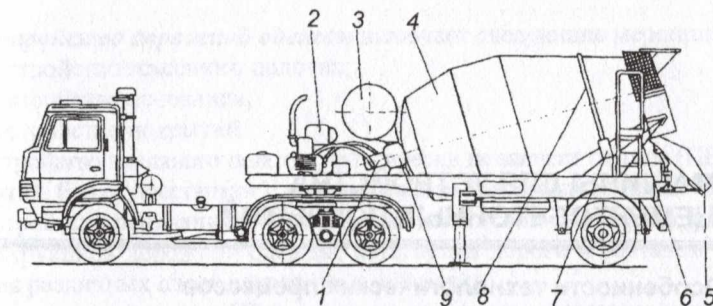


Рисунок 6.13 – Схема автобетоносмесителя с гидроприводом смесительного барабана:

1 – цапфа барабана; 2 – двигатель привода барабана; 3 – дозирочно-промывочный бак для воды; 4 – барабан; 5 – направляющий лоток для разгрузки; 6 – лестница для обслуживания; 7 – опорный ролик; 8 – бандаж; 9 – гидромотор привода барабана

Расчет основных параметров смесительных устройств, установленных на автобетоносмесителях, выполняют по формулам (6.1)–(6.25). Тяговый расчет, расчет баланса мощности осуществляют по известным методикам, приведенным ранее.

Основные направления развития бетоносмесительной техники. Бетоносмесители совершенствуют в следующих направлениях:

- 1) расширяют технологические возможности смесительного оборудования за счет переработки различных по составу компонентов материалов;
- 2) комплексно автоматизируют смесительное оборудование и технологический процесс приготовления смесей;
- 3) разрабатывают многофункциональные агрегаты, совмещающие смесительное оборудование с другим технологическим оборудованием, например, с бетононасосами.

Контрольные вопросы

- 1 Классифицируйте бетоносмесители по основным признакам.
- 2 В чем состоят различия бетоносмесителей непрерывного и циклического действия?
- 3 На какие сопротивления в рабочем режиме расходуется мощность силовой установки гравитационных бетоносмесителей?
- 4 Оцените баланс мощности бетоносмесителей принудительного действия в рабочем режиме.
- 5 Сопоставьте эксплуатационную производительность бетоносмесителей циклического и непрерывного действия.
- 6 Классифицируйте бетонные заводы по основным признакам.
- 7 Какие параметры определяют эффективность автобетоносмесителей?

7 МАШИНЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

7.1 Особенности технологических процессов

Цементобетонные покрытия (ЦБ покрытия) – это капитальные покрытия жесткого типа, которые используют на автомобильных дорогах и аэродромах. К их достоинствам относятся:

- высокая прочность в любое время года;
- длительный межремонтный срок (30–40 лет);
- высокий коэффициент сцепления с колесами (независимо от влажности покрытия);
- повышенная безопасность при езде (из-за светлого цвета);
- низкая скорость изнашивания – менее 0,1–0,2 мм/год.

К недостаткам следует отнести:

- 1) большую (по сравнению с покрытиями на основе органических вяжущих веществ) продолжительность строительства (в том числе из-за довольно длительного времени отверждения цемента);
- 2) необходимость устройства деформационных швов;
- 3) сложность ремонта и восстановления.

Имеется два основных варианта использования ЦБ слоев: во-первых, в качестве покрытий; во-вторых, в качестве оснований для АБ покрытий на дорогах с интенсивным движением.

Одним из главных достоинств является их прочность и долговечность. Этот фактор способствует увеличению протяженности дорог с цементобетонными покрытиями, что находит отражение в статистических данных: доля дорог с ЦБ покрытием составляет в Германии 38 %, в Австрии – 46 %, в США – 60 %. В Беларуси таких дорог значительно меньше – не более 5 % дорог с твердым покрытием, но есть перспективы их развития.

Цементобетонные покрытия (СТБ 1035–96 «Смеси бетонные. Технические условия» с изменениями № 1 и 2 от 2012 г.) могут быть следующих типов:

- монолитные неармированные (одно- и двухслойные), разделенные на участки деформационными швами;
- монолитные армированные (сеткой, струнами, стержнями и др.);
- монолитные предварительно напряженные;
- сборные из предварительно изготовленных плит.

Устройство дорожной одежды включает следующие мероприятия:

- устройство земляного полотна;
- устройство основания;
- устройство покрытий.

Устройство земляного полотна практически не зависит от типа (ЦБ или АБ) покрытий. Его осуществляют с использованием машин для земляных работ.

Устройство основания и ЦБ покрытия имеет свою специфику, связанную с конструкцией дорожной одежды, категорией дороги и составом материалов для различных слоев основания и покрытия.

Дорожная одежда с ЦБ покрытием содержит следующие конструктивные слои (сверху вниз):

- 1) монолитное покрытие (неармированное или армированное);
- 2) прослойку (из черного щебня или песка, асфальтобетона и др.);
- 3) основание (из каменных материалов – щебня, гравия, гравийно-песчаных смесей и грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими);
- 4) технологический (выравнивающий) слой;
- 5) дополнительный слой основания (из морозостойких и дренирующих грунтов).

На рисунке 7.1 представлена схема одного из вариантов конструкции дорожной одежды с ЦБ покрытием.



Рисунок 7.1 – Конструкция дорожной одежды с ЦБ покрытием

Для обеспечения независимого деформирования слоев покрытия и основания (и тем самым повышения долговечности покрытия) предусматривают разделительную прослойку (черный щебень или песок, асфальтобетон, геотекстильный материал или полиэтиленовую пленку).

Устройство покрытий является завершающим этапом строительства дорожной одежды. Цементобетонные покрытия устраивают на автомобильных дорогах I–IV категорий, а также на аэродромах. Они могут быть одно- или двухслойными.

Технологический процесс устройства однослойного неармированного ЦБ покрытия на дорогах I, II категорий включает следующие стадии:

- подготовку основания, включая установку копирных струн;
- профилирование выравнивающего слоя;
- установку каркасов швов расширения;
- транспортирование ЦБ смеси;
- укладку и уплотнение смеси;
- отделочные работы (формирование текстуры поверхности и др.);
- нарезку и герметизацию (залівку) швов;
- уход за свежесуложенным бетоном.

Для защиты ЦБ покрытия от разрушения иногда применяют укладку поверх покрытия асфальтобетонного слоя износа. Этот слой защищает основное покрытие, а при появлении дефектов его можно легко отремонтировать.

Эксплуатационно-технические характеристики ЦБ покрытий зависят от качества подготовки основания. Его формируют из щебня, гравия и укрепленного грунта, а затем на уплотненное и спрофилированное основание укладывают выравнивающий слой песка толщиной 2–5 см. При устройстве покрытий все операции (укладка и уплотнение смеси, формирование швов, отделка поверхности покрытия и др.) заканчивают за 1–2 часа до начала схватывания смеси. ЦБ покрытия должны иметь толщину, одинаковую по длине и ширине укладываемого участка, если не оговорены специальные требования. Выбор количества слоев и толщины покрытия обусловлен категорией дороги: для I категории – 22–24, для II – 20–22, для III – 18–20 см. Двухслойные покрытия применяют в тех случаях, когда можно использовать в нижнем слое менее прочные каменные материалы, чем в рабочем слое. В двухслойных покрытиях толщина верхнего слоя составляет более 6 см. Для усиления прочностных свойств и повышения долговечности ЦБ покрытия армируют металлическими сетками или стержнями, плотность которых составляет 2–5 кг на 1 м² покрытия.

ЦБ покрытия сооружают с использованием комплектов или комплексов машин, состав которых зависит от требований к укладываемому слою. Основой таких комплексов являются бетоноукладочные машины на гусеничном ходу со скользящей опалубкой. Их применение значительно упрощает организацию работ и снижает их трудоемкость. Каждая из машин выполняет одну или несколько технологических операций, обеспечивающих заданное качество сооружаемому покрытию.

В числе этих работ профилирование грунтового основания для придания ему заданных продольного и поперечного профилей, качественная укладка ЦБ смеси (с погружением арматуры, если это предусмотрено), формирование слоя покрытия заданной толщины и отделка его поверхности. Ровность покрытий обеспечивается автоматическими следящими системами, контролем жесткости и подвижности поступающей смеси, а также соблюдением правил по ее укладке и уплотнению.

Для устройства плоских ЦБ покрытий используют различные комплексы. Наиболее полный комплекс включает следующие машины:

- профилировщик (или автогрейдер, бульдозер),
- распределитель бетона (или автобетоносмеситель с автогрейдером);
- укладчик бетона;
- бетоноотделочную машину (финишер);
- машину для текстурирования и нанесения защитного покрытия;
- нарезчик и заливщик швов.

Ведущие производители машин стремятся сократить число машин комплексов за счет разработки многофункциональных машин, с помощью которых можно проводить несколько операций технологического процесса.

В последние годы для устройства оснований капитальных покрытий дорог применяют *укатываемый малоцементный бетон*, который является разновидностью тяжелого бетона и отличается значительно меньшим содержанием цемента и воды. Для уплотнения бетонной смеси используют преимущественно самоходные катки с пневмоколесными вальцами. Для улучшения физико-механических показателей укатываемого бетона в бетонную смесь вводят тонко диспергированную битумную эмульсию в количестве 40–50 % от массы цемента.

7.2 Укладчики цементобетонных смесей и сопутствующие машины

Основными машинами для устройства ЦБ покрытий являются *бетоноукладчики*, которые предназначены для распределения смеси по дорожному основанию, ее укладки и уплотнения, а также профилирования и отделки поверхности слоя. Их можно классифицировать по следующим основным признакам:

- 1) *по типу опалубки* – со стационарной (рельс-формы) и скользящей опалубкой;
- 2) *по ходовому оборудованию* – двух-, трех- и четырехгусеничные;
- 3) *по производительности* – легкие, средние и тяжелые;
- 4) *по виду работ* – для устройства покрытий, изготовления профилей и формирования оснований;
- 5) *по наличию бункера* – бункерные и безбункерные;
- 6) *по типу распределителя* – с плужным, лопастным и шнековым распределителем;
- 7) *по степени универсальности* – специализированные (для укладки только покрытия или только профиля) и универсальные (для укладки и покрытия, и профиля);
- 8) *по степени автоматизации управления* – ручное, дистанционное, автоматическое и смешанное;
- 9) *по типу уширителей* – с приставными и телескопическими уширителями.

В середине прошлого века преобладало использование колесно-рельсовых машин для устройства ЦБ покрытий. Они передвигались по специальным

рельс-формам, которые одновременно служили стационарной (неподвижной) опалубкой для бетонной смеси. Но они имели значительные недостатки: большую трудоёмкость монтажа-демонтажа и перевозки рельс-форм и небольшую (250–500 м в смену) производительность процесса укладки бетона.

Необходимость увеличения темпов строительства автодорог и аэродромов привела к созданию безрельсовых бетоноукладочных машин, оснащенных боковой опалубкой, которую называют *скользящими формами*, с высокой производительностью. Эти машины передвигаются по дорожному основанию, а формирование покрытия происходит между скользящими формами, укрепленными на машине (т. е. формы перемещаются вместе с машиной).

На рисунке 7.2 представлены принципиальные схемы бетоноукладчиков различной производительности. Многие модели бетоноукладчиков со скользящими формами обеспечивают формирование как покрытий, так и различных монолитных профилей (водосточных каналов и желобов, боковых полос, направляющих стенок и ограждений дорог и др.).

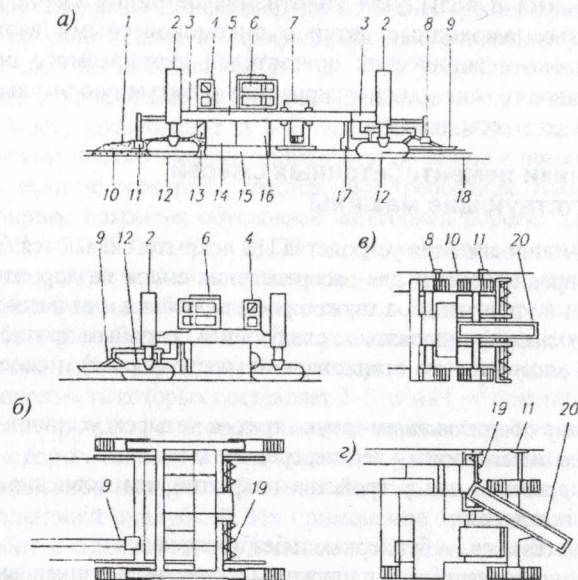


Рисунок 7.2 – Схемы бетоноукладчиков со скользящими формами:
а – большой; б – средней; в, г – малой производительности (в – для укладки покрытия и профиля, г – для укладки профиля):

1 – ЦБ смесь; 2 – гидроцилиндр регулировки по высоте; 3 – поворотная консоль крепления гусеничной тележки; 4 – пульт управления; 5 – основная рама; 6 – силовая установка; 7 – устройство для погружения арматуры; 8, 11 – задний и передний датчики (щупы) автоматической системы задания координат; 9 – продольная выравнивающая плита; 10 – копирная струна; 12 – гусеничная тележка; 13 – мечеобразный распределитель; 14 – вибратор; 15 – передняя стенка-щит; 16 – боковая скользящая форма; 17 – поперечный выравнивающий вибробрус; 18 – ЦБ покрытие; 19 – распределительный шнек; 20 – ленточный конвейер-питатель

Для качественной укладки и армирования ЦБ смеси эти машины оснащают набором рабочих органов, в том числе шнековыми распределителями и щитами для равномерного распределения бетона, поперечными вибробрусками и продольными выравнивающими плитами, а также устройствами для введения армирующих элементов (дюбелей, анкеров и др.). Боковые скользящие формы обеспечивают формирование соответствующего профиля. Для повышения эффективности дорожных работ ведущие производители дорожных машин выпускают бетоноукладчики, типоразмерный ряд которых охватывает диапазон ширины укладываемой полосы от 0,5 до 16,0 м.

Бетоноукладчик состоит из шасси и бетоноукладочного оборудования. В качестве шасси используют гусеничные движители. Двух- и четырехгусеничные – в основном для устройства плоских покрытий, а трехгусеничные – для формирования специальных профилей.

Оборудование для устройства покрытий включает шнековый (или другой) распределитель, дозирующие и выравнивающие брусья, вибраторы, боковые скользящие формы, а также систему управления элементами оборудования. Его также оснащают устройствами для укладки арматуры и кернов. Шасси укладчика покрытий имеет в основном две или четыре гусеничные тележки, которые являются поворотными (рисунок 7.3).

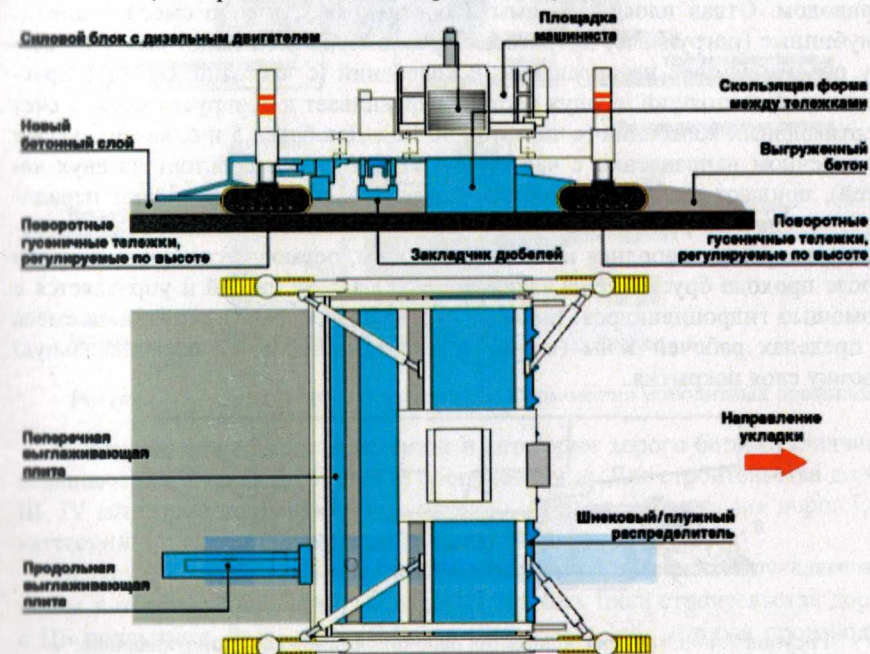


Рисунок 7.3 – Схема бетоноукладчика для устройства покрытий

При укладке покрытия укладчиком со скользящими формами, подвешенными между гусеничными тележками, бетонную смесь размещают на подготовленном дорожном полотне перед укладчиком с помощью бетонораспределителя или автобетоносмесителя. Далее с помощью укладчика слой смеси разравнивают по всей рабочей ширине его шнековым или плужным распределителем и уплотняют с помощью высокочастотных погружных вибраторов до заданной толщины. С помощью специальных приспособлений, которыми оснащают укладчик, в еще свежий бетон автоматически закладывают дюбели и анкера, после чего отделывают поверхность поперечной и продольной выглаживающими плитами. После этого с помощью бетоноотделочной машины разравнивают, профилируют и отделывают поверхность покрытия для создания необходимой шероховатости, а также наносят защитную пленку распылением пленкообразующей жидкости. Нарезчик и заливщик швов завершают работы по формированию бетонного покрытия.

Современные бетоноукладчики для устройства покрытий имеют различные наборы элементов рабочего оборудования. Один из таких вариантов, представленный на рисунке 7.4, включает шнек и отвал шнека, глубинные вибраторы, качающиеся отделочные брусья и плавающую выглаживающую плиту. Распределительный шнек 1 состоит из двух частей с независимым приводом. Отвал плоской формы 2 обеспечивает подпор смеси в шнеке. Глубинные (погружные) вибраторы 3 равномерно уплотняют смесь по всему объему за счет ненаправленных колебаний (с частотой 180 Гц). Брусдозатор 4, состоящий из двух частей, выравнивает и дозирует смесь за счет вертикальных колебаний (с частотой 50 Гц). Два бруса 5 и 6, качающиеся в поперечном направлении с частотой 4 Гц (они также состоят из двух частей), придают покрытию необходимый профиль и осуществляют первичную отделку покрытия. Плавающая плита 7 производит окончательную отделку покрытия, заполняя и выглаживая швы, остающиеся на поверхности после прохода брусьев. Она также состоит из двух частей и управляется с помощью гидроцилиндров. Боковые скользящие формы удерживают смесь в пределах рабочей зоны (шириной 7,5 м) и образуют первоначальную кромку слоя покрытия.

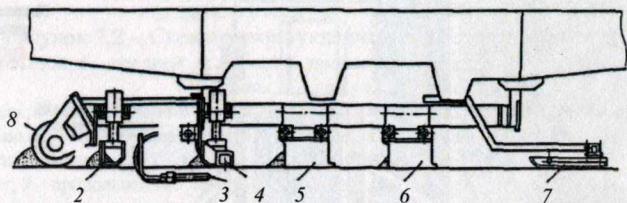


Рисунок 7.4 – Схема расположения рабочих органов на бетоноукладчике:

1 – шнек; 2 – отвал шнека; 3 – глубинный вибратор; 4 – вибробрус-дозатор;
5, 6 – качающиеся брусья; 7 – выглаживающая плита

Оборудование для устройства различных профилей (ограждений, бордюров, водоотводных каналов и др.) оснащают скользящими формами заданной конфигурации, шнековым распределителем, конвейером-питателем и др. Формы обычно располагают сбоку (справа или слева). Для каждого профиля требуется своя скользящая форма в зависимости от его конфигурации. На рисунке 7.5 представлена схема укладчика с боковой скользящей формой. При укладке смеси боковой формой автобетоносмеситель перегружает ее в приемную воронку укладчика. Из нее смесь транспортируют поворотным ленточным (или винтовым) конвейером в навешенную на укладчик боковую скользящую форму, где ее равномерно уплотняют погружными вибраторами. При движении бетоноукладчика в скользящей форме формируется требуемый монолитный профиль.

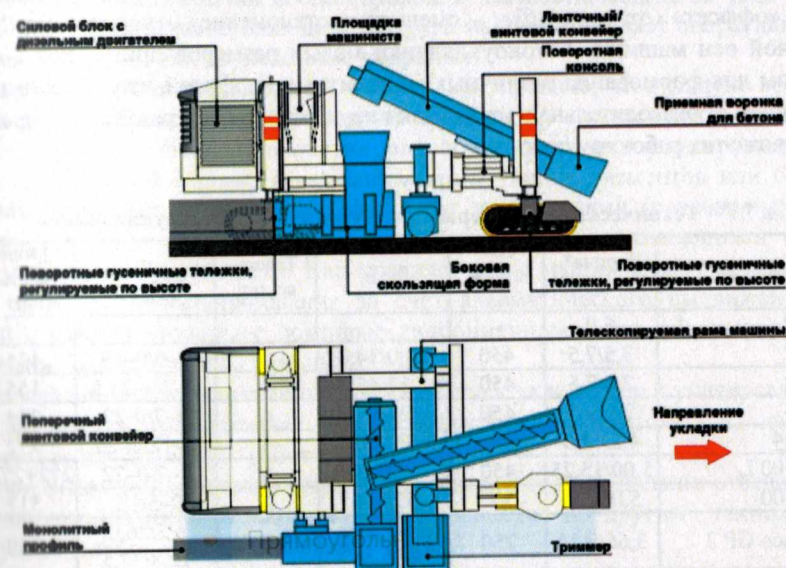


Рисунок 7.5 – Схема бетоноукладчика для формирования монолитных профилей

В зависимости от ширины полосы и категории дороги бетоноукладчики оснащают различным гусеничным оборудованием. Для строительства дорог III, IV категорий используют, как правило, двухгусеничные, для дорог I, II категорий – трех- или четырехгусеничные машины.

Ведущие компании по производству дорожной техники выпускают машины и оборудование, которые охватывают весь цикл строительства дорог с ЦБ покрытием. В их числе Gomaco Corporation Inc., которая производит профилировщики подготовки основания, распределители и перегружатели

бетонной смеси, бетоноукладчики плоского покрытия и монолитных профилей, цилиндрические финишеры отделки покрытия, машины для текстурирования и нанесения раствора, а также вспомогательное оборудование. При этом фирмой освоен выпуск типоразмерного ряда бетоноукладчиков, охватывающего машины с шириной укладки смеси от 0,6 до 15,24 м.

В таблице 7.1 представлены характеристики некоторых машин ведущих производителей дорожной техники.

Легкие бетоноукладчики (малой производительности) используют для укладки покрытий шириной до 2,5 м и устройства монолитных профилей (бордюров, ограждений, желобов, стенок каналов, бортов и др.). Для устройства покрытий боковые элементы скользящей опалубки подвешивают между гусениц, для устройства профилей – сбоку со смещением по методу «оффсет» (от. англ. *offset* – смещение, отклонение) относительно продольной оси машины. Бетоноукладчики малых размеров применяют в основном для формирования различных монолитных профилей, что существенно повышает производительность и снижает трудозатраты по сравнению с производством этих работ вручную.

Таблица 7.1 – Технические характеристики гусеничных бетоноукладчиков

Модель	Ширина*, м	Толщина, мм	Масса, т	Тележка, шт.	v, м/мин	Мощность, кВт
SP 60	6,0	—	—	—	—	—
SP 62	3,5/7,5	450	24,0/34,0	2	0–6/0–18	155
SP 64	2,0/7,5	450	17/45	4	0–7/0–23,5	155
SP 94	3,5/9,5	450	24/65	4	0–7/0–22	224
SP 124	4,5/12,0	450	56/102	4	0–12/0–25	272
SP 1500 L	5,00/15,25	450	107,0	4	0–7/0–22	272+272
SP 1600	5,0/16,0	500	57/135	4	0–5/1,2	317
Gomaco GP 3	3,66/9,14	250	34,9 или 36,3	2 или 4	8,5/26,0 12,8/33,5	250
Gomaco GT 2800	3,7/9,75	483	39,7	2 или 4	37,6/–; 21,3/–	250
Gomaco** Commander III	6,0	483	15,2/18,9	3 или 4	0–29,6/–; 0–22,0/–	138
Gomaco GT 3300	0,6	305	10,43	4	0–18,9/–	69
Gomaco GT 6300	6,0	305	12,65/16,74	3 или 4	8,53/–	104
Gomaco GP 4000	3,66/15,24	483	40/52	2 или 4	0–6,1/ 0–12,2/	328

* В числителе – стандартная ширина, в знаменателе – с уширителями;

** Масса и скорость – для 3- и 4-гусеничной тележки.

Машины средней производительности применяют для укладки покрытий шириной от 2,5 до 9,0 м и строительства крупных монолитных профилей, в частности, с их помощью можно бетонировать каналы шириной до 3 м и глубиной до 2 м. Скользящая опалубка этих машин также имеет два варианта своего расположения относительно ходовой системы: 1) между гусениц (*inset*); 2) со смещением относительно продольной оси машины (*offset*). Кроме того, их рабочие органы позволяют укладывать покрытия с плавной регулируемой в процессе укладки стандартной шириной в диапазоне от 3 до 6 м. Помимо этого, их оснащение уширителями увеличивает ширину обрабатываемой полосы укладки до 9 м.

Тяжелые укладчики большой производительности (типа SP 1500, SP 1500L и SP 1600, GP 4000) обеспечивают создание покрытий шириной до 16 м, в том числе двухслойных покрытий за один проход. В частности, модель SP 1500 L, состоящая из двух независимых друг от друга машин, позволяет оперативно формировать одно- или двухслойные покрытия.

Современные бетоноукладчики имеют, как правило, модульную конструкцию, что обеспечивает их быструю переналадку в зависимости от поставленной задачи: укладки покрытия заданной ширины или формирования профиля требуемой формы, с введением армирующих элементов или без них. Машины всех типоразмеров снабжают уширителями (раздвижными телескопическими или приставными), существенно увеличивающими их технологические возможности. Как правило, рамы машин имеют возможность двойного телескопирования за счет автоматического выдвижения секций с каждой стороны с помощью гидроцилиндров, что обеспечивает увеличение общей ширины рамы на 3,0–4,5 м.

В последние годы существенно возрос выпуск укладчиков с универсальными возможностями, которые можно эффективно использовать на двух основных видах дорожных работ:

- при сооружении автомагистралей, качество которых должно отвечать жестким требованиям стандартов по ровности и другим технико-эксплуатационным характеристикам;

- при устройстве дорог с низкопрофильными характеристиками.

Ведущие производители машин для дорожных работ разрабатывают агрегаты, позволяющие с минимальной перенастройкой использовать укладчики как для цементобетонных, так и для асфальтобетонных смесей. В частности, фирма «Vogele» предлагает укладчики Super 2500, которые способны укладывать щебень, цементобетон и асфальтобетон.

Почти половина укладчиков имеет резиногоусеничный ход. Резиновые гусеницы обладают преимуществами в транспортной скорости и затратах на обслуживание по сравнению с традиционными гусеничными системами.

Бетоноукладчик является основной машиной комплексов или комплектов, включающих сопутствующие машины. Состав комплекса выбирают в

зависимости от категории дороги, рецептуры смеси и технологии устройства покрытий, конструкции основания и самого покрытия (армированного или неармированного).

Строительство автомобильных дорог с ЦБ покрытием предусматривает профилирование земляного полотна, устройство основания, укладку смеси, формирование и отделку покрытия. Для реализации этих операций необходим набор сопутствующих укладчику машин.

При строительстве оснований дорог и аэродромов для планировки и профилирования поверхности грунта используют бульдозеры, автогрейдеры или специальные профилировщики. Для обеспечения ровности поверхности (в поперечном и продольном направлениях, а также по курсу движения машины) бульдозеры и автогрейдеры снабжают автоматическими системами управления рабочими органами. В ряде случаев для этих целей используют профилировщики, которые могут иметь как пассивные (отвалы, щиты и др.), так и активные (фрезы, шнеки) рабочие органы.

При устройстве укрепленных оснований планирование и профилирование совмещают со смешением грунта с вяжущими веществами. Поэтому профилировщик, помимо своих основных функций, выполняет роль грунтосмесительной машины. В этом случае к нему в комплект добавляют цементовоз-распределитель (для дозированного распределения порошкообразного цемента на полотне дороги).

При строительстве ЦБ покрытий ведущие производители укладочных машин для качественной укладки смеси на подготовленное дорожное основание используют комплекс основных машин, который состоит из бетоно-распределителя, бетоноукладчика со скользящими формами и бетоноотделочной машины. Например, фирма «Wirtgen» для бетоноукладчиков, представленных в таблице 7.1, выпускает бетонораспределители с боковой загрузкой смеси, имеющие производительность до 200 пог. м/ч при рабочей ширине от 2,5 до 9,0 м, и бетоноотделочные машины (финишеры ТСМ 850 и МТС 1600), которые обеспечивают с помощью специальных устройств поверхностную обработку уложенного бетоноукладчиком полотна при его ширине до 9,5 и 16,0 м соответственно.

Бетонораспределители, принимающие и распределяющие смесь, могут быть бункерными и безбункерными. Бункерные распределители являются машинами циклического действия. Смесь поступает из бункера порциями и распределяется по основанию дороги, для чего используют шнеки, фрезы и отвалы. Безбункерные (шнековые, лопастные и ковшовые) распределители – это машины непрерывного действия, которые используют для более масштабных работ. Они равномерно распределяют в поперечном направлении смесь, поступающую непосредственно на подготовленное основание дороги, с помощью шнека, лопасти или ковша и предварительно разравнивают отвалом. Профилирование уложенного слоя смеси производят специально-

ми профилирующими заслонками, с помощью которых можно установить одно- или двухскатный профиль покрытия.

Бетоноотделочные машины (гусеничные или колесные финишеры) производят окончательное разравнивание, профилирование, уплотнение и отделку поверхности покрытия для придания необходимой шероховатости, а также формирование деформационных швов и нанесение на покрытие пленкообразующих материалов. Для решения этих задач машину оснащают разнообразным рабочим оборудованием. Во-первых, выглаживающей трубой, состоящей из двух шарнирно соединенных половин (для отделки двухскатных покрытий) и снабженной системой водяного орошения для увлажнения обрабатываемой поверхности. Во-вторых, цилиндрической щеткой для нанесения необходимой текстуры. В-третьих, брезентовой драгой, орошаемой водой для окончательной отделки поверхности покрытия. В-четвертых, распределителем пленкообразующих материалов, предназначенным для окончательного текстурирования и нанесения пленкообразующей жидкости (битумной или водно-битумной эмульсии и др.) на покрытие.

Самоходные колесные нарезчики швов нарезают продольные и поперечные швы в свежесложенном покрытии. Их оснащают виброножом для нарезки поперечных швов и вибродиском для нарезки продольных швов с гидравлическим управлением их положения. В задней части машины устанавливают заливщик швов, который обеспечивает при помощи гидронасоса заливку образованных прорезей в бетоне мастикой или герметиком заданного состава.

Такие комплексы в свое время планировалось использовать в СССР для строительства магистральных дорог и аэродромов. ОАО «Брянский Арсенал» изготовил около 30 комплексов машин ДС-110 и оснастил ими крупные дорожно-строительные организации. Однако самой значимой работой комплекса было строительство магистральной автомобильной дороги Брест – Москва. В состав комплекса входили три гусеничные машины (профилировщик, распределитель бетона и бетоноукладчик) и две колесные машины (финишер и машина для нанесения пленкообразующих веществ), а также многочисленное вспомогательное оборудование. Однако в связи с сокращением объемов строительства цементобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов на постсоветском пространстве комплекс ДС-110 в нынешнем веке оказался невостребованным. Такая же участь постигла бетоноукладчик со скользящими формами ДС-169.

Для строительства автомобильных дорог местного значения применяют комплекты, состоящие из двух машин – профилировщика и грунтосмесительной машины, которые являются полуприцепными к колесным тракторам. Они имеют гидравлическую систему управления рабочими органами и оснащены автоматической следящей системой.

В ряде случаев для устройства ЦБ покрытий используют асфальтоукладчики, оснащенные специальным дополнительным оборудованием.

Ведущие производители дорожной техники расширяют технологические возможности машин, оснащая их оборудованием для совмещения различных операций по устройству цементобетонных покрытий.

В Беларуси продолжают работы по освоению технологии скоростного строительства ЦБ покрытий для автомобильных дорог и аэродромов. Так, с приобретением бетоноукладочного комплекса GHP2800 и текстуровщика (бетоноотделочной машины) ТС-600 фирмы «GOMACO» была произведена укладка ЦБ покрытия на МКАД-2, а также на взлетно-посадочной полосе Национального аэропорта «Минск». Бетоноукладчик GHP-2800 является типичным представителем продукции компании «GOMACO», который оснащают гидравлической системой с электрогидравлическим управлением. Это обеспечивает простоту и точность регулировки, оперативное реагирование системы и простую настройку всех необходимых параметров с учетом особенностей решения технологических задач. В стандартную комплектацию входит установка спутниковой системы управления, которая работает в режиме реального времени и автоматизирует технологический процесс. Помимо укладчика в состав комплекса входит текстуровщик ТС-600, который представляет собой гусеничный финишер, оснащенный оборудованием для текстурирования (цилиндрической щеткой), нанесения пленкообразующего раствора и обработки бетонной поверхности волочением драги (из брезента) со скоростью до 58 м/мин.

В настоящее время страна располагает автомобильными дорогами с ЦБ покрытием протяженностью более 1200 км.

К основным направлениям развития машин для строительства цементобетонных покрытий относятся следующие:

1) совершенствование мероприятий по энергосбережению и экологической безопасности эксплуатации машин;

2) дальнейшее сокращение числа машин комплексов за счет их универсализации;

3) автоматизация всех операций технологического процесса, обеспечивающая высокое качество покрытий при функционировании комплекса машин по заданной программе с учетом свойств ЦБ смеси, характеристик основания и формируемой бетонной плиты;

4) расширение технологических возможностей машин средней мощности путем оснащения машин многоцелевым рабочим оборудованием, обеспечивающим заданные качество и скорость укладки покрытий при решении различных технологических задач.

Расчеты основных параметров машин для устройства ЦБ покрытий. Расчеты рабочих органов машин базируются на решении уравнения

тягового баланса. Как правило, при оценке сил сопротивления их передвижению учитывают две группы факторов.

К первой группе относятся сопротивления, не связанные с особенностями их рабочих органов, а именно силы сопротивления передвижению машины как тележки и инерционные сопротивления, ко второй – силы, обусловленные спецификой рабочих органов. В их числе сопротивления резанию шнеком и фрезой, сопротивления перемещению призмы волочения материала перед отвалами, щитами и брусками, а также силы трения, возникающие при перемещении брусков и плит. В расчетах учитывают наиболее значимые силы сопротивления.

Гусеничный профилировщик оснащают фрезой и отвалом фрезы. Общая сила сопротивления передвижению в рабочем режиме включает сопротивление перемещению машины, сопротивление резанию грунта фрезой, сопротивление перемещению призмы волочения материала перед отвалом и сопротивление от преодоления сил инерции машины.

Сопротивление перемещению машины, Н,

$$W_{\text{пер}} = (f + i)G_{\text{проф}}, \quad (7.1)$$

где f – коэффициент сопротивления перемещению машины;

i – продольный уклон пути;

$G_{\text{проф}}$ – сила тяжести машины, Н.

Сопротивление резанию грунта фрезой, Н,

$$W_{\text{рез}} = k_p s b z_n, \quad (7.2)$$

где k_p – удельное сопротивление фрезерованию грунта, $k_p = 0,7 \dots 2,5 \text{ Н/м}^2$;

s – толщина срезаемой стружки, м;

b – ширина лопасти, м;

z_n – число лопастей, одновременно участвующих в процессе фрезерования,

$$z_n = \frac{z\alpha}{360},$$

z – число лопастей на роторе;

α – угол контакта лопасти с материалом, град, $\alpha = \arctg(h/r)$,

h – толщина срезаемого слоя, м.

r – радиус ротора, м;

Сопротивление перемещению призмы материала перед отвалом, Н,

$$W_{\text{пр}} = \mu_2 G_{\text{пр}}, \quad (7.3)$$

где μ_2 – коэффициент внутреннего трения грунта о грунт;

$G_{пр}$ – сила тяжести материала в призме, Н.

Сопротивление сил инерции при трогании машины с места, Н,

$$W_i = \frac{\chi G_{проф} v}{g t_p}, \quad (7.4)$$

где χ – коэффициент, учитывающий вращающиеся массы;

v – скорость рабочего процесса, м/с;

t_p – время разгона до рабочей скорости, с.

Таким образом, **общая сила сопротивления передвижению профилировщика** в рабочем режиме выглядит следующим образом:

$$W = W_{пер} \pm W_p^{гр} + W_{пр} + W_i, \quad (7.5)$$

где $W_p^{гр}$ – горизонтальная составляющая сопротивления грунта резанию,

$$W_p^{гр} = W_p \frac{v_n}{v_o},$$

v_n – поступательная скорость машины, м/с;

v_o – окружная скорость ротора, м/с;

(плюс означает резание снизу вверх, минус – сверху вниз).

Условие работоспособности профилировщика без пробуксовки следует проверить по уравнению тягового баланса:

$$\Phi_{сц} G_{проф} \geq W, \quad (7.6)$$

где $\Phi_{сц}$ – коэффициент сцепления гусениц с основанием.

Мощность силовой установки профилировщика $N_{проф}$ расходуется на резание грунта, его отбрасывание фрезой и преодоление сопротивления при перемещении машины в процессе работы.

Мощность, расходуемая на резание грунта лопастями фрезы, кВт,

$$N_p = 10^{-3} k_p b s h z n, \quad (7.7)$$

где z – число лопастей на роторе;

n – частота вращения фрезы, c^{-1} .

Мощность на отбрасывание грунта, кВт,

$$N_{от} = 10^{-3} k_{от} \frac{m v_o}{2}, \quad (7.8)$$

где $k_{от}$ – коэффициент отбрасывания,

$$k_{от} = \begin{cases} 0,75 & \text{– для узких лопастей,} \\ 1,0 & \text{– для широких лопастей;} \end{cases}$$

m – масса грунта, отбрасываемого фрезой одну секунду, кг,

$$m = \rho b h v_n,$$

ρ – плотность материала основания, $кг/м^3$;

v_n – поступательная скорость машины, м/с;

v_o – окружная скорость на концах резцов фрезы, м/с.

Мощность на перемещение профилировщика, кВт,

$$N_{пер} = 10^{-3} \frac{W_{проф} v_{nmax}}{\eta_{тр}}, \quad (7.9)$$

где v_{nmax} – максимальная рабочая скорость профилировщика, м/с;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии ходовой системы.

Таким образом, **мощность силовой установки, кВт,**

$$N_{проф} = N_p + N_{от} + N_{пер}.$$

В зависимости от решаемой задачи баланс мощности можно использовать в двух вариантах: во-первых, для выбора силовой установки по рассчитанной мощности и, во-вторых, в качестве проверочного расчета.

Эксплуатационная производительность профилировщика, $м^2/ч$,

$$P_s = 3,6 \cdot 10^3 k_b B v_n, \quad (7.10)$$

где k_b – коэффициент использования рабочего времени, $k_b = 0,85$;

B – ширина обрабатываемой полосы за один проход профилировщика, м.

Распределитель бетона периодического действия (боковой загрузчик) работает циклически. Цикл состоит из двух стадий: первая – разгрузка смеси из бункера, ее укладка и распределение по основанию; вторая – перемещение машины на новую позицию. Соответственно, баланс мощности следует рассчитывать отдельно для первой и второй стадий процесса.

На первой стадии происходит перемещение бункера со смесью по направляющим в поперечном направлении, а также ее укладка и распределение по дорожному основанию. В общем случае сопротивлениями, возникающими при укладке и распределении смеси с помощью фрезы и отвала, можно пре-

небрежь. На этой стадии учитывают только *силу, необходимую для перемещения распределительного бункера*, которая включает следующие составляющие:

$$W_{пб} = P_{пр} + P_{пб} + P_i, \quad (7.11)$$

где $P_{пр}$ – сила сопротивления перерезыванию столба бетонной смеси, Н;

$P_{пб}$ – сила сопротивления перемещению бункера по рельсам, Н;

P_i – сопротивление сил инерции при трогании с места бункера, Н.

Сопротивление перерезыванию столба бетонной смеси, Н,

$$P_{пр} = k_{пр} b, \quad (7.12)$$

где $k_{пр}$ – удельное сопротивление перерезыванию столба смеси, зависящее от ее вязкости, $k_{пр} = (6...9) \cdot 10^3$ Н/м.

Сопротивление перемещению груженого бункера по направляющим, Н,

$$P_{пб} = f_3 (G_б + G_{см}), \quad (7.13)$$

где $G_б$ и $G_{см}$ – силы тяжести бункера и смеси, находящейся в бункере, Н;

f_3 – коэффициент удельного сопротивления перемещению бункера по рельсам, $f_3 = 0,05$.

Сопротивление сил инерции при трогании с места груженого бункера, Н,

$$P_i = \frac{(G_б + G_{см}) v_{пб}}{g t_p}, \quad (7.14)$$

где $v_б$ – скорость передвижения бункера со смесью по направляющим, м/с;

t_p – время разгона до рабочей скорости $v_б$, с.

Мощность, необходимая для перемещения бункера, кВт,

$$N_б = 10^{-3} \frac{W_{пб} v_б}{\eta_б}, \quad (7.15)$$

где $\eta_б$ – КПД привода перемещения распределительного бункера.

На второй стадии происходит передвижение машины на новую рабочую позицию. Общая сила сопротивлению перемещения машины $W_{рас}$ складывается из двух составляющих: сопротивления передвижению распределителя и сопротивления сил инерции при трогании с места машины, т. е.

$$W_{рас} = W_{пер} + W_i. \quad (7.16)$$

Сопротивление передвижению распределителя, Н,

$$W_{пер} = (f + i) G_{рас}, \quad (7.17)$$

где $G_{рас}$ – сила тяжести распределителя, Н.

Сопротивление сил инерции при трогании распределителя с места, Н,

$$W_i = \frac{\chi G_{рас} v_{рас}}{g t_p}, \quad (7.18)$$

где $v_{рас}$ – скорость передвижения распределителя, м/с;

$g t_p$ – время разгона машины до скорости $v_{рас}$, $t_p = 0,5...1,5$ с.

Возможность передвижения распределителя без пробуксовки следует проверить по уравнению тягового баланса

$$\Phi_{сц} G_{рас} \geq W_{рас}. \quad (7.19)$$

Мощность для перемещения распределителя, кВт,

$$N_{рас} = 10^{-3} \frac{W_{рас} v_{рас}}{\eta_{тр}}, \quad (7.20)$$

где $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии от двигателя до ходового оборудования.

Техническая производительность распределителя, м³/с,

$$П_{тех} = \frac{q_{рас}}{T}, \quad (7.21)$$

где $q_{рас}$ – вместимость бункера, м³;

T – продолжительность цикла, с,

$$T = t_1 + t_2 + t_3,$$

t_1 – время загрузки бункера, с;

t_2 – время распределения бетонной смеси и возврат бункера под загрузку, с;

t_3 – время, затрачиваемое на переход распределителя на следующую рабочую позицию, с.

Бетоноукладчик в качестве рабочих органов имеет шнек и отвал шнека, трамбующий брус, качающиеся брусья и выравнивающую плиту. В расчетах учитывают наиболее значимые сопротивления, а именно: силу сопро-

тивления передвижению машины, силу сопротивления распределению смеси шнеком, силу сопротивления перемещению призмы смеси, инерционное сопротивление и силу трения рабочих органов по поверхности слоя смеси.

Таким образом, общая сила сопротивления

$$W_{\text{бет}} = W_{\text{пер}} + W_{\text{рас}} + W_{\text{пр}} + W_i + W_{\text{тр}}. \quad (7.22)$$

Сила сопротивления передвижению бетоноукладчика, Н,

$$W_{\text{пер}} = (f + i)G_{\text{бет}}, \quad (7.23)$$

где $G_{\text{бет}}$ – сила тяжести бетоноукладчика, Н.

Сила сопротивления распределению смеси с помощью шнека, Н,

$$W_{\text{рас}} = k_{\text{см}} s b z_{\text{л}}, \quad (7.24)$$

где $k_{\text{см}}$ – коэффициент удельного сопротивления распределению смеси, Н/м²;

s – толщина распределяемого слоя, м;

b – ширина лопасти шнека, м;

$z_{\text{л}}$ – число лопастей, одновременно участвующих в процессе распределения.

Сила сопротивления перемещению призмы смеси, образующейся перед рабочим органом (отвалом шнека, уплотняющим и выравнивающим брусьями), Н,

$$W_{\text{пр}} = \mu_2 (g_p + g_y + g_b), \quad (7.25)$$

где g_p, g_y, g_b – силы тяжести смеси в призме волочения перед выравнивающим, уплотняющим и выравнивающим рабочими органами, Н;

μ_2 – коэффициент внутреннего трения бетонной смеси.

Сила трения рабочих органов при их перемещении по бетонной смеси, Н,

$$W_{\text{тр}} = \mu_3 (G_p + G_y + G_b), \quad (7.26)$$

где G_p, G_y, G_b – силы тяжести выравнивающего, уплотняющего и выравнивающего рабочего органа, Н;

μ_3 – коэффициент трения стали по слою бетонной смеси,

$\mu_3 = 0,5$.

Сила инерционного сопротивления, возникающая при трогании бетоноукладчика с места, Н,

$$W_i = \frac{G_{\text{бет}} v_p}{g t_p}, \quad (7.27)$$

где v_p – скорость рабочего перемещения, м/с;

t_p – время разгона до скорости v_p , с.

Тяговое усилие необходимо проверить на возможность его реализации по условиям сцепления, т. е.

$$\varphi_{\text{сц}} G_{\text{бет}} \geq W_{\text{бет}}. \quad (7.28)$$

Мощность силовой установки бетоноукладчика расходуется на передвижение машины, приводы рабочих органов и вспомогательных механизмов.

Мощность на передвижение машины, кВт,

$$N_{\text{пер}} = 10^{-3} \frac{W_{\text{пер}} v_p}{\eta_{\text{тр}}}, \quad (7.29)$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии от двигателя до ходового оборудования.

Мощность привода рабочих органов зависит от их состава. В общем случае она расходуется на привод распределительного, уплотняющего, выравнивающего и выравнивающего рабочих органов с вибрационным воздействием на смесь.

Мощность, необходимая для работы распределительных шнеков, кВт,

$$N_{\text{ш}} = 10^{-3} \frac{\alpha k_{\text{сопр}} P B g}{\eta_{\text{шн}}}, \quad (7.30)$$

где α – коэффициент, учитывающий долю смеси, перемещаемую шнеком;

$k_{\text{сопр}}$ – коэффициент сопротивления перемещению материала, $k_{\text{сопр}} = 3,2$;

P – производительность шнека, кг/с;

B – ширина полосы укладки, м;

$\eta_{\text{шн}}$ – КПД привода шнека.

Мощность привода уплотняющего вибробруса, кВт,

$$N_{\text{вб}} = k_p F, \quad (7.31)$$

где k_p – удельный расход энергии, $k_p = (1,0 \dots 1,3)$ кВт/м²;

F – площадь вибробруса, м².

Мощность привода трамбующего бруса, кВт, расходуется в основном на подъем бруса при вертикальных колебаниях и преодоление сил сопротивлений трения в цапфах приводного дебалансного вала

$$N_{тр} = 10^{-3} \frac{(aG_{тбр} + \pi f P d)n_{вер}}{\eta_{тбр}}, \quad (7.32)$$

где a – амплитуда вертикальных колебаний бруса, м;

$G_{тбр}$ – сила тяжести трамбуемого бруса, Н;

f – коэффициент трения качения в опорах дебалансного вала, $f = 0,005 \dots 0,010$;

P – возмущающая сила возбудителя колебаний бруса, Н;

d – диаметр цапф дебалансного вала, м;

$n_{вер}$ – частота вертикальных колебаний бруса, Гц;

$\eta_{тбр}$ – КПД привода трамбуемого бруса.

Мощность привода выглаживающего качающегося бруса затрачивается на совершение им поперечных колебаний, преодоление сил трения при взаимодействии бруса со смесью и сопротивление призмы смеси, образующейся перед брусом.

Суммарная сила, включающая трение и сопротивление призмы волочения, Н,

$$W_{поп} = \mu_3 G_{вбр} (1 + \mu_2), \quad (7.33)$$

где $G_{вбр}$ – сила тяжести выглаживающего бруса, Н.

При оценке общей мощности с помощью коэффициента $\kappa_{нр}$ учитывают потери мощности из-за неравномерности движения бруса.

Суммарная мощность одного выглаживающего бруса с поперечными колебаниями, кВт,

$$N_{пк} = 10^{-3} \frac{4\kappa_{нр} A W_{пк} n_{пк}}{\eta_{кбр}}, \quad (7.34)$$

где A – амплитуда поперечных колебаний бруса, $A = 0,4 \dots 0,7$ м;

$n_{пк}$ – частота поперечных колебаний бруса, Гц;

$\eta_{кбр}$ – КПД привода качающегося бруса.

Общая мощность двигателя бетоноукладчика с учетом мощности привода вспомогательных механизмов, кВт,

$$N_{бу} = N_{пер} + N_{шн} + N_{вб} + N_{тр} + N_{пк} + N_{всп} + N_{гс}, \quad (7.35)$$

где $N_{всп}$ – мощность привода вспомогательных механизмов,

$$N_{всп} = (3 \dots 5) \text{ кВт};$$

$N_{гс}$ – мощность привода гидросистемы управления рабочими

органами, $N_{гс} = (5 \dots 7) \text{ кВт}$.

Эксплуатационная производительность бетоноукладчика, м³/ч,

$$П_э = 3,6 \cdot 10^3 \kappa_b B h v_{пер}, \quad (7.36)$$

где B – ширина обрабатываемой полосы, м;

h – толщина уложенного слоя смеси, м;

$v_{пер}$ – скорость передвижения бетоноукладчика, м/с.

К **основным параметрам вибробруса** относятся его габариты, частота колебаний, возмущающая сила, а также масса колеблющихся элементов. Их значения зависят от состава и свойств смеси, плотности и толщины формируемого слоя цементобетона.

Минимальную ширину бруса $b_{мин}$ выбирают из условия равномерного уплотнения слоя по всей глубине:

$$b_{мин} \geq h. \quad (7.37)$$

Длина основания вибробруса зависит от ширины укладываемой полосы.

Поступательную скорость машины, м/с, определяют исходя из условия обеспечения необходимой плотности смеси, которая зависит от времени вибрирования:

$$v_{пер} = \frac{b}{t}, \quad (7.38)$$

где b – выбранная ширина вибробруса, м;

t – минимально необходимое время вибрирования смеси, с,

$$t = \begin{cases} 15 & \text{– для пластичных,} \\ 15 \dots 30 & \text{– для жестких смесей.} \end{cases}$$

Эффективность работы вибробруса, имеющего несколько источников вибрации, зависит от синхронности их колебаний. Ее обеспечивают с помощью жесткой кинематической связи отдельных виброэлементов. Расстояние между ними также оказывает существенное влияние на качество уплотнения смеси. **Оптимальное расстояние между виброэлементами, м,**

$$l = 3\sqrt[4]{\frac{10EJ}{mv^2}}, \quad (7.39)$$

где E – модуль упругости материала бруса, Па;

J – осевой момент инерции сечения бруса, м⁴;

m – масса единицы длины бруса, кг/м;

v – частота вынужденных колебаний, $v = 35 \dots 75$ Гц, с увеличением массы бруса следует выбирать меньшие значения частоты.

Возмущающая сила виброэлемента, Н,

$$P = m_d l \omega^2, \quad (7.40)$$

где m_d – масса дебалансного вала, кг;

l – эксцентриситет, м;

ω – угловая скорость вращения дебаланса, с^{-1} .

Контрольные вопросы

- 1 Какие достоинства отличают цементобетонные дорожные покрытия?
- 2 Какие машины входят в состав современных комплексов для устройства цементобетонных покрытий?
- 3 Дайте классификацию бетоноукладчиков по основным признакам.
- 4 Назовите и прокомментируйте назначение рабочих органов бетоноукладчика.
- 5 Какие сопротивления следует учитывать в тяговом расчете бетоноукладчика в рабочем режиме?
- 6 Оцените баланс мощности бетоноукладчика в рабочем режиме.
- 7 Приведите формулу для определения эксплуатационной производительности бетоноукладчика.

8 МАШИНЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ОБЛЕГЧЕННЫХ И ПЕРЕХОДНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

8.1 Технологические процессы устройства облегченных и переходных покрытий

Облегченные покрытия – это усовершенствованные покрытия, которые формируют из горячих (марки III), теплых и холодных асфальто-бетонных смесей, а также дегтебетонных и смесей на основе эмульсий. Кроме того, облегченными покрытиями считают покрытия, сформированные по методу пропитки и смешения на месте, а также слои износа, устроенные на покрытиях переходного типа. Их расчетный срок службы должен составлять 10 лет.

Наиболее востребованными являются холодные регенерированные АБ смеси на основе битумных эмульсий. В зависимости от области применения (покрытие или основание) подбирают состав вяжущих и минеральных материалов, а также режимы технологического процесса. В качестве вяжущих используют как органические (битумную эмульсию, вспененный битум), так и неорганические вещества (цемент, цементно-водную суспензию), а также комплексные вяжущие на их основе. Применение новых типов органических и неорганических вяжущих позволяет реализовать практически любой заданный уровень технико-эксплуатационных характеристик покрытий в зависимости от категории автомобильных дорог.

Холодные регенерированные АБ смеси используют при формировании дорожной одежды в различных вариантах для устройства:

- верхних слоев оснований на дорогах I–III категорий;
- нижних слоев покрытий на дорогах III категории;
- верхних слоев покрытий на дорогах IV, V категорий.

Кроме того, современные регенерированные АБ смеси используют для восстановления дорожной одежды на дорогах всех категорий от I до V.

Переходные покрытия – это неукрепленные щебеночные, гравийные и шлаковые покрытия, а также покрытия из грунтов, укрепленных вяжущими материалами (жидким битумом, битумной эмульсией, известью и др.). Их устраивают на дорогах IV, V категорий. В ряде случаев их используют как основания под усовершенствованные покрытия. Расчетный срок службы переходных покрытий – до 6 лет.

В настоящее время устройство облегченных и переходных покрытий, а также их ремонт производят в основном по методу *холодного рециклинга*

(ресайклинга). Этот метод состоит в объединении в единый технологический процесс нескольких операций: фрезерования, перемешивания, стабилизации, уплотнения и профилирования восстанавливаемого участка дороги за один проход. Его применяют на дорогах с разными типами покрытий: гравийных, щебеночных неукрепленных, щебеночных укрепленных и асфальтобетонных.

Холодный рециклинг (от англ. *cold deep in-place recycling*) на начальном этапе был задуман как вариант глубокой («*deep*») совместной стабилизации слоев покрытия и основания битумной эмульсией с добавками цемента или извести. Однако в настоящее время этот метод используют также для неглубокого рециклинга покрытий (до 10 см). На данный момент холодный рециклинг является самой распространенной технологией восстановления дорожной одежды и стабилизации слабых грунтов.

Устройство или восстановление дорожной одежды по методу холодного рециклинга (часто его называют холодной регенерацией) осуществляют только на дороге. Его целесообразно классифицировать по следующим основным признакам:

1) *по назначению* – для устройства облегченных и переходных покрытий и оснований, для ремонта дорожной одежды;

2) *по объему ремонта* – только покрытия или одновременно покрытия и основания;

3) *по составу стабилизирующего вяжущего* – органические, неорганические и комплексные;

4) *по типу основной машины комплекса* – с грунтосмесителем или с рециклером.

Технологический процесс холодного рециклинга выполняют на дороге комплексом машин на основе специализированной машины (*грунтосмесителя* или *рециклера*). Состав комплекса и выбор основной машины зависят прежде всего от поставленной технологической задачи – устройства или ремонта дорожной одежды.

Грунтосмеситель является базовой машиной для устройства *переходных покрытий*. В зависимости от исходного агрегатного состояния вяжущих используют следующие комплексы:

– грунтосмеситель, автоцистерна с водой, автобитумовоз (или автогудронатор) с битумной эмульсией, цементовоз, автогрейдер и каток – для *жидких вяжущих*;

– грунтосмеситель, распределитель дорожно-строительных материалов (в том числе цемента), поливо-моечная машина, автогрейдер и каток – для *порошкообразных вяжущих*.

Технологический процесс подготовки и обработки грунта с использованием грунтосмесителя включает следующие операции:

- профилирование и предварительное уплотнение обрабатываемого слоя;
- распределение модифицирующих добавок (при необходимости);
- размельчение связных грунтов;
- дозирование и распределение вяжущих материалов;
- смешивание грунта с добавками, вяжущими и водой;
- профилирование и уплотнение смеси;
- уход за слоем основания.

Рециклер является базовой машиной для устройства *облегченных покрытий*.

Большинство современных рециклеров являются универсальными машинами, способными как стабилизировать грунты, так и восстанавливать дорожную одежду. В зависимости от решаемой задачи формируют технологические комплексы машин на основе рециклера.

Технологический процесс восстановления (холодного рециклинга) дорожной одежды с помощью **рециклера** включает следующие стадии:

- холодное фрезерование изношенного слоя АБ покрытия (или слоев покрытия и основания);
- смешивание полученного гранулята с новыми компонентами (минеральным материалом и вяжущим);
- укладку ремонтной смеси на дорожное полотно;
- профилирование и уплотнение уложенного слоя.

Холодный рециклинг обеспечивает максимальное (до 100 %) повторное использование материала ремонтируемого покрытия без предварительного разогрева покрытия, что способствует снижению энергоемкости технологического процесса и уменьшению его воздействия на окружающую среду.

На ранних стадиях развития рециклинга рециклированные слои использовали в качестве покрытий только на дорогах с низкой интенсивностью движения. Однако совершенствование материалов и технологий рециклинга способствовало тому, что современные рециклированные слои имеют очень высокую несущую способность и износостойкость, поэтому их нередко используют в качестве покрытий на дорогах с интенсивным движением.

Для реализации основных методов рециклинга на дороге в зависимости от исходного агрегатного состояния вяжущих используют следующие технологические комплексы:

– *рециклер*, автоцистерна с водой, автобитумовоз (или автогудронатор) с битумной эмульсией, цементовоз (или установка для приготовления цементно-водной суспензии), автогрейдер и каток – для *жидких вяжущих*;

– *рециклер*, распределитель дорожно-строительных материалов (цемента, извести и др.), поливо-моечная машина, автогрейдер и каток – для *порошкообразных вяжущих*.

8.2 Грунтосмесители и рециклеры

Грунтосмеситель представляет собой передвижную машину, которая предназначена для устройства усовершенствованных покрытий из укрепленных грунтов, а также оснований дорожной одежды дорог с высокой интенсивностью движения. Машина снимает верхний слой грунта и измельчает его, вводит в него вяжущее, перемешивает полученную смесь и распределяет ее на обрабатываемой полосе дороги. С помощью грунтосмесителя осуществляют многие технологические операции, в их числе:

- смешивание материалов на полотне строящейся или ремонтируемой дороги;
- смешивание грунтов с минеральными и органическими вяжущими, а также с комплексными вяжущими на их основе;
- разрыхление грунтов для ускорения их высыхания;
- смешивание неоднородных грунтовых смесей для обеспечения однородности (однородности) их состава перед уплотнением;
- разрушение изношенных покрытий для их дальнейшего восстановления.

Грунтосмесители разделяют по следующим основным признакам:

- 1) по назначению – специализированные и универсальные;
- 2) по способу передвижения – навесные, прицепные и самоходные;
- 3) по типу ходовой системы – колесные, гусеничные и комбинированные;
- 4) по числу роторных рабочих органов – одно-, двух-, трех- и четырех-роторные;
- 5) по типу привода ротора – с механическим и гидромеханическим (с гидрообъемным компонентом) приводом;
- 6) по подаче вяжущего – из блока емкостей машины или из автономных машин (битумовозов и цементовозов), соединенных с грунтосмесителем гибкими шлангами.

Специализированные грунтосмесители могут выполнять только отдельные операции, связанные в основном со стабилизацией грунтов. Универсальные машины выполняют комплекс дорожных работ по устройству покрытий из укрепленных грунтов. Соответственно, в зависимости от назначения эти машины имеют различный набор роторных рабочих органов и систем их управления.

Навесные и прицепные грунтосмесители агрегируют с гусеничными и колесными тракторами. Как правило, навесные грунтосмесители имеют один рабочий орган в виде фрезы, которую приводят от гидросистемы базовой машины. Прицепные фрезы приводят от базового тягача или от авто-

номного двигателя. Самоходные грунтосмесители имеют специальные пневмоколесные шасси.

Фрезерный барабан является основным рабочим органом. Он представляет собой стальной пустотелый цилиндр, к наружной поверхности которого крепят быстросъемные резцедержатели с твердосплавными резцами. Диаметр барабана, а также характеристики режущих элементов (форма и размеры резцов, размеры и расположение резцедержателей) зависят от назначения рабочего органа. Универсальные барабаны оснащают круглыми резцами, которые свободно вращаются вокруг своей оси. Рыхлительные и смесительные барабаны оснащают лопатками на длинной стойке, которые разрыхляют грунт и перемешивают его с вяжущими веществами и другими добавками. Резцы и лопатки располагают по винтовой линии или в шахматном порядке. Длина барабана определяет ширину обрабатываемой полосы и зависит от мощности силовой установки машины. Вращение барабана осуществляют как по направлению движения машины, так и против ее движения. Предпочтение отдают встречному вращению, обеспечивающему более высокую стабильность глубины резания и качественное измельчение гранулята.

На рисунке 8.1 представлена принципиальная схема рабочей камеры фрезы.

На рисунке 8.1 представлена принципиальная схема рабочей камеры фрезы. Сверху, с боков и с торцов барабан 1 закрыт кожухом 5, который предотвращает разбрасывание гранулята. Изнутри кожух футерован износостойким и ударопрочным покрытием. Как правило, кожух оснащают регулируемой дробящей плитой 3 и дробящим брусом 4, которые способствуют дополнительному измельчению грунта или асфальто-бетона. Толщину сфрезерованного слоя регулируют откидными гидрофицированными фартуками 7, которые выравнивают его поверхность. Глубину фрезерования изменяют при помощи гидроцилиндров подъема-опускания барабана. В рабочем положении кожух 5 опирается на полотно опорными лыжами 2, которые скользят по краям обрабатываемой полосы покрытия.

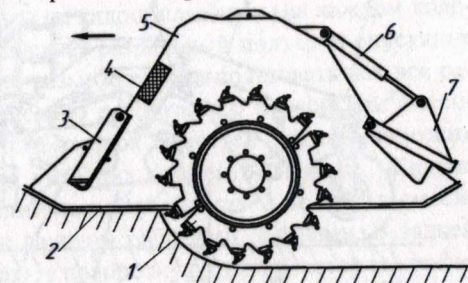


Рисунок 8.1 – Схема рабочей камеры фрезы:
1 – фрезерный барабан; 2 – опорная лыжа;
3 – дробящая плита; 4 – дробящий брус;
5 – защитный кожух; 6 – гидроцилиндр управления фартуком; 7 – откидной фартук

В рабочем положении барабана. В рабочем положении кожух 5 опирается на полотно опорными лыжами 2, которые скользят по краям обрабатываемой полосы покрытия.

Отметим, что большая часть грунтосмесителей и рециклеров имеют такую же конструкцию рабочей камеры фрезы.

Для привода фрезы грунтосмесителя используют механические или гидрообъемные трансмиссии. Механические трансмиссии включают муфту сцепления, раздаточный редуктор и различные передачи. Так, непосредственно рабочие органы приводят с помощью цепных или ременных передач, цилиндрических или планетарных редукторов. Предпочтение отдают клиноременным передачам, которые предохраняют привод от пиковых нагрузок.

Ходовое оборудование приводят обычно с помощью гидрообъемных передач.

В качестве примера на рисунке 8.2 представлена конструктивная схема самоходного однороторного грунтосмесителя на пневмоколесном шасси (в транспортном положении), которая имеет только один рабочий орган — фрезу. На колеса 7 и 12 шасси опирается моноблочная рама 3, передняя часть которой образована подмоторной рамой. На ней крепят двигатель 6 с гидрообъемной ходовой трансмиссией, передний ведущий мост и кабину машиниста 5. Передний мост оснащают блокируемым дифференциалом и неуправляемыми колесами 7 со ступичными редукторами, которые приводят через мост и коробку передач регулируемый гидромотор.

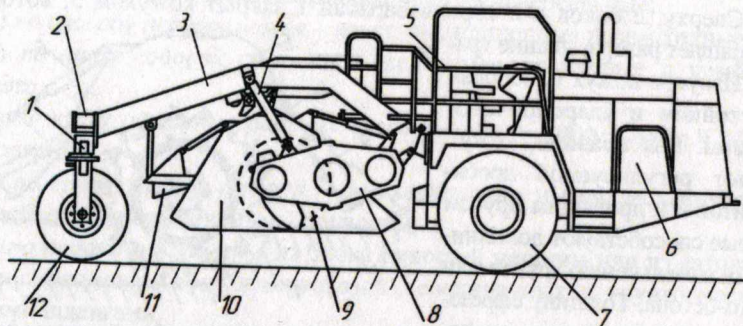


Рисунок 8.2 — Конструктивная схема самоходного грунтосмесителя:
1 — шарнир крепления колеса; 2 — шарнир крепления рулевой рамы; 3 — рама машины;
4 — гидроцилиндр подъема-опускания фрезы; 5 — кабина управления;
6 — силовая установка; 7 — ведущее колесо; 8 — клиноременный редуктор привода фрезы;
9 — фрезерный барабан; 10 — кожух фрезерного барабана; 11 — откидной фартук; 12 — заднее управляемое колесо

Под выгнутой вверх рамой 3 размещен кожух 10 с фрезерным барабаном 9, его приводом и системой управления. Колеса 12 крепят на вертикальных стойках П-образной рамы, которая в свою очередь крепится к раме 3 машины в средней точке своей поперечной траверсы. Шарнир 2 обеспечивает качание рулевой рамы в поперечной плоскости на угол $\pm 15^\circ$.

Управляемые колеса поворачиваются вокруг вертикальной оси вместе с вертикальными стойками рамы.

На постсоветском пространстве в свое время производили самоходные грунтосмесители, содержащие несколько роторных рабочих органов, в их числе смеситель с четырьмя рабочими органами (фрезой, рыхлителем и двухвальным смесителем), каждый из которых выполнял свои функции (рисунок 8.3).

Кожух рамы 1 рабочих органов одновременно служит смесительной камерой. Первый ротор (рыхлитель) 7 разрыхляет, второй (фреза) 6 измельчает грунт (они вращаются в разные стороны). Третий и четвертый роторы составляют двухвальный лопастной смеситель 4 и 5. Распределитель минеральных вяжущих располагается перед кожухом рамы.

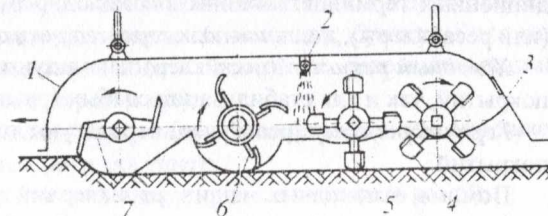


Рисунок 8.3 — Схема рабочих органов грунто-смесительной машины:

1 — кожух; 2 — распределитель жидких вяжущих;
3 — задняя разравнивающая стенка; 4, 5 — двухвальный лопастной смеситель; 6 — фреза; 7 — рыхлитель

Машины с набором таких рабочих органов могут производить холодный рециклинг грунтовых и гравийных покрытий, а также подготовку и стабилизацию грунтов для устройства оснований. Подвеска рамы на гидроцилиндрах (на каждом колесе) четырех вертикальных стоек допускает раздельный подъем и опускание ее передней и задней балок, что дает возможность использовать как все рабочие органы совместно, так и раздельно рыхлитель с фрезой или смеситель. На грунтосмесителе устанавливают блок емкостей для органических вяжущих, неорганических сыпучих вяжущих (цемента) и воды. Жидкие компоненты при помощи распределительных устройств 2 подают в смесительную камеру и перемешивают с грунтом рабочими органами. В задней части смесительной камеры монтируют поворотную стенку, которая профилирует поверхность разрыхленного материала. Вяжущие можно также подавать непосредственно из автоцементовозов или автогудронаторов, резервуары которых подключают к распределительным системам грунтосмесителя.

Ведущие производители дорожной техники выпускают универсальные машины, которые используют как в качестве грунтосмесительных машин, так и для холодного рециклинга дорожной одежды.

Рециклер (ресайклер) — это самоходная универсальная машина непрерывного действия, предназначенная для восстановления дорожной одежды, а также для стабилизации слабых грунтов по методу холодного рециклинга за один проход. Ее оснащают дизельным двигателем и гидрообъемной

ходовой трансмиссией, рабочим оборудованием (фрезерно-смесительным агрегатом и распределительным устройством), коммуникациями для подачи вяжущих и других компонентов, гидросистемой управления рабочими органами и агрегатами машины.

Следует отметить, что в англоязычной технической литературе в ряде источников рециклерами (ресайклерами) считают машины не только для холодного, но и для горячего рециклинга. Мы будем придерживаться традиционных терминов: машины для холодного рециклинга – это *рециклеры* (или ресайклеры), а *машины для горячего рециклинга* – это *ремиксеры*.

Холодный рециклер (ресайклер) используют как для восстановления АБ покрытий, так и для стабилизации слабых грунтов.

Горячий рециклер (ресайклер) используют только для восстановления АБ покрытий.

Помимо самоходных машин, рециклерами считают прицепные установки циклического действия, предназначенные для переработки изношенного асфальтобетона и его использования для ямочного ремонта АБ покрытий. В данном разделе эти установки не рассматриваются.

Таким образом, при смешивании *«in-place»* или *«in-situ»* (на месте) агрегат холодной переработки машины фрезерует старое покрытие и формирует однородную смесь из вяжущих и воды.

При смешивании *«in-plant»* (на заводе, в установке) асфальтогранулят и минеральный наполнитель транспортируют в смесительную установку, которая не входит в состав комплекса, но располагается в пределах строительного участка.

С помощью рециклера реализуют следующие методы холодного рециклинга:

- *гомогенизацию* (разрыхление) грунтов, которая способствует более высокому качеству подготовки основания дорожной одежды;
- *стабилизацию* (упрочнение) *грунтов известью*, что повышает несущую способность, водо- и морозостойкость основания дорожной одежды;
- *стабилизацию грунтов и АБ смесей цементом*, что также повышает несущую способность, водо- и морозостойкость основания, а также верхних слоев покрытий дорог IV, V категорий;
- *гранулирование* (дробление) материала изношенных АБ покрытий (без добавления или с добавлением воды) для использования в качестве основания, на которое затем укладывают новые слои дорожной одежды;
- *капитальный ремонт* облегченных АБ покрытий с применением органических (битумных эмульсий), минеральных (цемента, извести и др.) и комплексных (цемента и битумной эмульсии) вяжущих.

Рециклеры целесообразно классифицировать по следующим основным признакам:

- 1) *по назначению* – для стабилизации грунтов, для восстановления дорожной одежды и универсальные;
- 2) *по типу ходовой системы* – пневмоколесные и гусеничные;
- 3) *по способу перемещения* – навесные и самоходные;
- 4) *по типоразмеру* – малые, средние и большие;
- 5) *по комплектации рециклера* – базовой комплектации и с дополнительным оборудованием (агрегатом распределения вяжущих, бункером для минерального наполнителя, выравнивающей плитой и разравнивающими брусками, перегрузочным конвейером и др.);
- 6) *по агрегатному состоянию вяжущего* – с использованием порошкообразного, жидкого и комплексного вяжущего;
- 7) *по типу рамы* – с моноблочной и шарнирно-сочлененной рамой;
- 8) *по подаче вяжущего* – из блока емкостей автономного рециклера или из дополнительных машин комплекса (битумовозов и цементовозов), соединенных с рециклером гибкими шлангами.

При использовании машины в качестве рециклера старое дорожное покрытие сфрезеровывают, смешивают с новыми вяжущими и другими компонентами и укладывают на полотно.

При ее использовании машины в качестве стабилизатора грунта старое грунтовое основание срезают фрезой, смешивают с вяжущим (известью, цементом и др.) и укатывают при обратной засыпке.

На рисунке 8.4 представлена принципиальная схема восстановления АБ покрытия с использованием жидких вяжущих. Кожух фрезерного барабана оборудуют системой распределения вяжущего (битумной эмульсии) и воды, а также насосами для их подачи из движущихся вместе с машиной битумовоза (автогудронатора) и цистерны с водой.

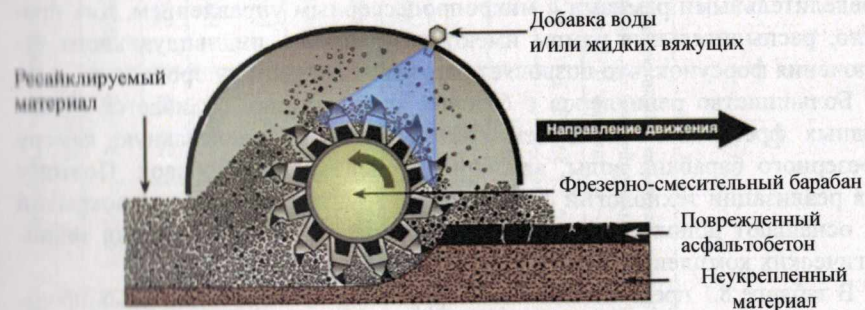


Рисунок 8.4 – Схема восстановления АБ покрытия методом холодного рециклинга

В зависимости от метода восстановления дорожной одежды используют различные технологические комплексы, основной машиной которых является рециклер с набором необходимых рабочих органов.

Фрезерный барабан (рисунок 8.5) представляет собой полый стальной цилиндр, на наружной поверхности которого по винтовой линии укрепляют с помощью болтов легкоосъемные резцедержатели. Для фрезерования асфальтобетона в держатели устанавливают круглые резцы из твердосплавных износостойких материалов. Для повышения эффективности эксплуатации фрез используют систему водяного орошения, которая очищает и охлаждает резцы, а также осаждает образующуюся при резании пыль.



Рисунок 8.5 – Фрезерный барабан

Вода, цементно-водная суспензия, битумная эмульсия, вспененный битум и другие добавки, впрыскиваемые в смесительную камеру, дозируют распределительными рампами с микропроцессорным управлением. Как правило, распылительные рампы имеют возможность индивидуального отключения форсунок, что позволяет регулировать ширину орошения.

Большинство рециклеров в базовой комплектации отличается от холодных фрез только наличием систем ввода в смесительную камеру фрезерного барабана воды, вяжущих и специальных добавок. Поэтому для реализации технологий стабилизации грунта и рециклинга покрытий их оснащают дополнительным оборудованием и вводят в состав технологических комплексов.

В таблице 8.1 представлены характеристики рециклеров некоторых производителей дорожных машин. В их числе колесные и гусеничные самоходные машины, а также навесные агрегаты к колесным тракторам.

Таблица 8.1 – Основные технические характеристики рециклеров

Параметр	BOMAG			Wirtgen									
	RS 500	RS 600	MPH 600	WR 200i/WR 200i	WR 240i/WR 240i	WR 250i/WR 250i	W 240 CRi/W 240 CRi	W 380 CRi/W 380 CRi	WR 42000	WS 200	WS 250		
<i>B</i> , м	2,25	2,4–2,8	2,4	2,0	2,4	2,4	2,35	3,8	3,0–4,2	2,15	2,5		
<i>H</i> , мм	500	600	600	350/500	350/510	350/560	350	350	200	500	500		
<i>D</i> , м	1,22	1,27	1,42	1,48	1,48	1,48	1,11	1,11	1,00	1,08	1,08		
n_{max} , мин ⁻¹	104–180	104–140	104–140	–	–	–	108/100	108/100	–	210	210		
<i>N</i> , кВт	375	440	440	315/320	455/447	571/563	708/775	708/775	433+433	180	220		
$v_{\text{рвб}} / v_{\text{пр}}$	50,0/12,0	50,0/12,0	64,0/12,0	210,0/12,6	210,0/12,6	210,0/12,6	88,0/5,3	88,0/5,3	16,0/3,6	–	–		
$N_{\text{рез}}$, кВт/см	–	–	–	1,6	1,9	2,4	–	–	–	–	–		
МП	К	К	К	К	К	К	Г	Г	Г	ПК	ПК		
<i>m</i> , т	24,49	27,9–33,3	27,9	23,9	29,4	31,0/32,0	48,5	53,0	77,0	4,745	5,05		

Примечание – *B* – ширина; *H* – глубина; над чертой – ресайклинг покрытий, под чертой – стабилизация грунта; *D* – диаметр барабана; *n* – число оборотов барабана; *N* – мощность двигателя; скорость хода: рабочая $v_{\text{рвб}} = [м/мин]$, транспортная $v_{\text{пр}} [км/ч]$; $N_{\text{рез}}$ – мощность резания; МП – механизм передвижения: К – колесный, Г – гусеничный, Н – навесной; *m* – эксплуатационная масса машины.

Ведущие производители дорожных машин (компании «Bomag», «Wirtgen Group», «Hamm», «Caterpillar», «Komatsu» и др.) выпускают рециклеры как для стабилизации грунта, так и для холодного рециклинга АБ покрытий дорог. Машины различаются типоразмером и расположением рабочих органов, видом движителя и типом привода рабочих органов, уровнем автономности обеспечения вяжущими материалами, а также степенью автоматизации системы управления технологическим процессом.

Наиболее широкий типоразмерный ряд рециклеров имеет фирма «Wirtgen», которая выпускает колесные и гусеничные машины, а также дополнительные агрегаты и установки для производства разнообразных работ по стабилизации грунтов и восстановления дорожной одежды в составе технологических комплексов. В их числе машины, которые готовят цементно-водную суспензию (например, модель WM-1000), устройства и приспособления для распределения технологических материалов (встроенные выравнивающие плиты, направляющие пластины и разравнивающие бруссы) и др.

Пневмоколесные рециклеры (ресайклеры) являются универсальными машинами, способными совмещать функции ресайклера и стабилизатора грунта. Их используют для стабилизации грунтов на глубину 500 мм и более, а также для восстановления покрытий и оснований на глубину до 200–350 мм. Гусеничные машины представляют собой машины более узкого профиля: их применяют только для восстановления дорожной одежды).

Колесные машины снабжают рамой хребтового типа, в передней части которой располагают силовую установку (двигатель, приводящий насосы гидросистемы) и кабину с пультом управления. В центральной части рама имеет шарнирное сочленение, обеспечивающее возможность поворота. Крайними точками рама опирается на передний и задний мосты с колесами, имеющими шины низкого давления, причем колеса заднего моста имеют возможность поворота для увеличения маневренности машины.

В центре колесной базы в кожухе, образующем камеру дробления, устанавливают фрезерный барабан. Объем камеры дробления можно изменять в процессе работы, поднимая или опуская кожух фрезерного барабана. Кожух оборудуют управляемой заслонкой в задней части, системами подачи вяжущего (битумной эмульсии) и воды в зону фрезерования посредством насосов из движущихся вместе с рециклером битумовоза (автогудронатора) и цистерны. Привод ходовых колес, насосов, фрезерного барабана, его подъем и опускание, а также подъем и опускание его кожуха, управление заслонкой кожуха и поворотом задних колес осуществляют с помощью гидравлической системы рециклера, имеющей общий контур.

На рисунке 8.6 приведена схема компоновки колесного рециклера малого типоразмера, имеющего в качестве рабочего органа только фрезерно-смесительный барабан с механическим приводом. Обрабатываемую полосу фрезеруют при движении машины в любом направлении, но при неизменном направлении вращения фрезы. Подачу вяжущих в зону обработки производят от специализированных машин с автономным приводом. Машину оснащают системой автоматического управления рабочими органами и другими агрегатами. В их числе регулирование мощности двигателя и скорости перемещения в зависимости от нагрузки на рабочем органе; изменение частоты вращения фрезы в зависимости от толщины и прочностных характеристик обрабатываемого материала, а также контроль расхода воды, минеральных и органических вяжущих.

Рециклер монтируют на раме 6, которая опирается на четыре ведущих управляемых колеса 1. Ступицу каждого из них крепят на Г-образном кронштейне 8, который обеспечивает поворот колеса. Он соединен со штоком гидроцилиндра 5, который регулирует высоту рамы с рабочим оборудованием над обрабатываемой полосой. Машину оборудуют гидрообъемной ходовой трансмиссией.

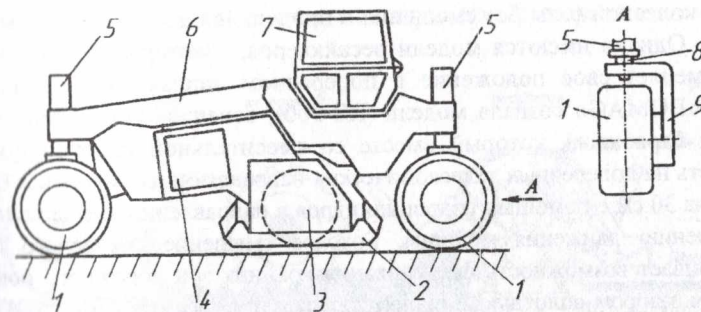


Рисунок 8.6 – Схема рециклера малого типоразмера:
1 – ведущее управляемое колесо; 2 – кожух защитный; 3 – фрезерный барабан; 4 – силовая установка; 5 – гидроцилиндр изменения дорожного просвета; 6 – рама; 7 – кабина управления; 8 – шток гидроцилиндра; 9 – кронштейн крепления колеса

Каждое колесо снабжают гидромотором и ступичным планетарным редуктором. Гидрообъемный рулевой механизм обеспечивает маневрирование поворотом передних или задних колес, а также «крабом».

Большинство колесных рециклеров имеет конструктивную схему с расположением фрезерного барабана в центре колесной базы (с механическим или гидростатическим приводом). Гидропривод дает возможность менять скорость его вращения в процессе работы и выбирать оптимальный режим.

Кожух фрезерного барабана позволяет изменять объем камеры дробления для оптимального измельчения материала покрытия и его перемешивания с вяжущим; кроме того, его оборудуют двумя (или тремя) управляемыми заслонками в передней и задней частях, что обеспечивает возможность фрезерования при движении рециклера вперед и назад. Дозированное распределение в камеру дробления вяжущего (битумной эмульсии или вспененного битума) и воды осуществляют тремя независимыми системами с помощью насосов через форсунки, регулируемые системой управления машины. Автоматическое диагностирование состояния сопел и их прочистка в случае необходимости обеспечивают максимальное время безотказной работы системы.

Следует отметить, что рециклинг с применением вспененного битума можно называть холодным лишь отчасти, поскольку битум находится в расплавленном состоянии. В данной системе в горячий битум, подаваемый под давлением в форсунку, впрыскивают холодную воду, что увеличивает его объем примерно в 20 раз. В результате вспенивания вязкость битума значительно снижается, что улучшает обволакивание частиц минерального гранулята.

Как правило, фрезерный барабан в большинстве моделей располагают в центре колесной базы без смещения в продольном или поперечном направлениях. Однако имеются модели ресайклеров, у которых фрезерный барабан изменяет свое положение в поперечном направлении. В частности, фирма «BOMAG» создала модель (RS 500), оснащенную подвижным фрезерным барабаном, который вместе со смесительной камерой имеет возможность на поперечных телескопических направляющих смещаться (вправо и влево) на 30 см с помощью гидроцилиндров в направлении, перпендикулярном направлению движения машины. Боковое смещение фрезерного барабана обеспечивает возможность фрезерования крайних зон дорожного покрытия с нулевым зазором вплотную к препятствиям или к уже отработанному участку без перекрытия следа.

В некоторых моделях (например, в рециклере МРН 100 S) фрезерный барабан располагают на отдельной раме, смонтированной консольно за задней осью машины.

В большинстве моделей колесных машин используют центральное расположение кабины, которое позволяет развернуть консоль управления на 180° с одновременным изменением направления действия органов управления. Это дает возможность работать, двигаясь задним ходом, если разворот машины невозможен.

Машины компании «BOMAG», представленные в таблице 7.1, выполняют по схеме с шарнирно-сочлененной рамой, что дает машине проходимость в тяжелых условиях с сохранением управляемости. Этому способствует незави-

симый гидропривод всех четырех колес, обеспечивающий максимальное тяговое усилие. Кроме того, управляемые задние колеса увеличивают маневренность машины на стройплощадках ограниченных размеров и обеспечивают ей все четыре режима управления, в том числе и «крабовый ход».

Наиболее распространенный технологический комплекс для восстановления дорожной одежды на основе «холодного» колесного ресайклера включает следующие машины:

- автоцистерну с битумом;
- установку (типа WR 1000) для приготовления цементно-водной суспензии;
- ресайклер (моделей WR 240 или WR 250);
- грунтовый каток;
- автогрейдер;
- тандемный каток.

В меньшей степени распространен вариант технологического процесса стабилизации грунта (рисунок 8.7), когда порошкообразный стабилизатор (цемент или известь) распределяют на обрабатываемый участок равномерным слоем перед ресайклером, а машина при фрезеровании смешивает его с гранулятом и водой.

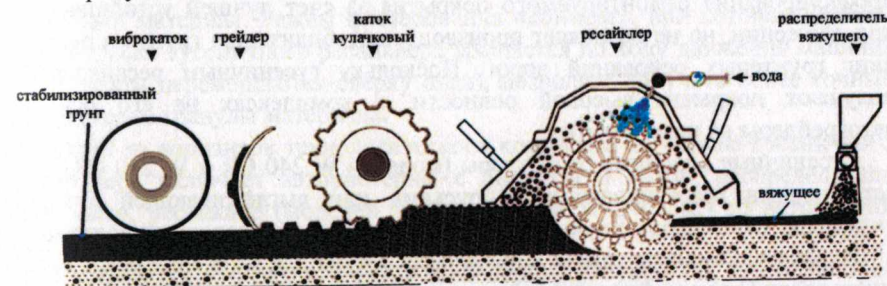


Рисунок 8.7 – Схема стабилизации грунта с предварительным распределением вяжущего

Гусеничные рециклеры (ресайклеры) имеют другую компоновочную схему. Как правило, раму устанавливают на четырех гусеничных тележках. На раме монтируют силовую установку, пульт управления, рабочий орган с системами подачи, дозирования и распределения вяжущего и воды.

Гусеничная ходовая система состоит из четырех гусеничных тележек (с полиуретановыми башмаками гусеничных лент) с индивидуальным гидромотором на каждую тележку. Натяжение гусеничных лент производят гидронатяжителями. Автоматический привод не требует переключения между рабочим и транспортным режимами. Скорость изменяют плавно во всем

диапазоне до максимальной. Блокировка дифференциала обеспечивает равномерное тяговое усилие даже в тяжелых условиях.

В ряде моделей в передней части рамы имеется приемный бункер, загружаемый самосвалами, из которого при необходимости минеральные заполнители дозированно поступают в зону фрезерования.

Гидросистемы машин обеспечивают привод механизма передвижения, управление глубиной фрезерования и шириной обрабатываемой полосы, механизмом формирования профиля восстанавливаемого покрытия, а также насосами подачи вяжущего, специальных добавок и воды.

Если машина имеет фиксированную ширину рабочего органа, то ее оборудуют фрезерным барабаном с механическим приводом, если же имеется необходимость регулирования ширины рабочей зоны, в этом случае используют фрезерные барабаны с гидроприводом для бесступенчатого регулирования ширины фрезерования.

Гусеничные «холодные» ресайклеры используют только для восстановления дорожной одежды на более значительную глубину (до 350 мм). Исключение составляет ресайклер модели WR 4200, с помощью которого фрезеруют покрытие на глубину до 200 мм. Применение гусеничного движителя позволяет более точно выдерживать заданные параметры фрезерования и профилирования ремонтируемого покрытия за счет лучшей устойчивости при движении, но не позволяет производить стабилизацию грунта и рецилинг грунтовых оснований дорог. Поскольку гусеничным ресайклером получают покрытия высокой ровности, в комплексах на его основе автогрейдеры не используют.

Гусеничные холодные ресайклеры (моделей W 240 CR и W 240 CRi) со встроенными разравнивающими брусьями или выглаживающей плитой укладывают переработанную смесь непосредственно на дорожное полотно.

Их фрезерно-смесительная камера разработана для движения резцов как снизу вверх (для ресайклинга), так и сверху вниз (только для фрезерования). Боковые щиты, скребок и пластина барабана требуют незначительных регулировок для использования в обоих рабочих направлениях.

Подготовленная смесь после фрезерно-смесительного барабана с помощью главного конвейера поступает к распределительным шнекам и далее к выглаживающей плите с регулируемыми параметрами (по высоте, ширине и уклону). Компактная конструкция и наличие встроенной выглаживающей плиты позволяет применять машины на ограниченном пространстве в стесненных условиях.

На рисунке 8.8 показан ресайклер с различными дополнительными устройствами.

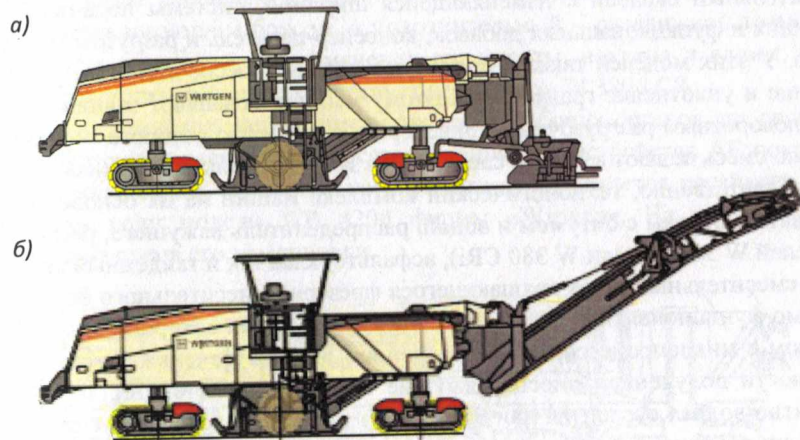


Рисунок 8.8 – Ресайклер модели W240 CR с выглаживающей плитой (а) и разгрузочным конвейером (б)

Холодные ресайклеры с выглаживающей плитой (рисунок 8.8, а) работают в режиме «downcut» и сразу же укладывают переработанный гранулированный материал. Режим фрезерования «downcut», при котором фрезерный барабан гусеничного ресайклера вращается по ходу движения машины (т. е. резцы перемещаются сверху вниз), позволяет получать более точные по размерам гранулы материала.

Один из вариантов технологического комплекса на основе гусеничного ресайклера включает автоцистерны с битумом и водой, распределитель вяжущего, ресайклер (моделей W 240 CR или W 240 CRi) со встроенной выглаживающей плитой и тандемный каток.

В ресайклерах с разгрузочным конвейером (рисунок 8.8, б) отсутствует выглаживающая плита, поэтому они работают в связке с асфальтоукладчиками, имеющими распределительные и уплотняющие органы. Эти же машины используют в качестве дорожных фрез с движением резцов снизу вверх. Мощность их силовой установки позволяет с высокой производительностью сфрезеровывать асфальтобетон до полного удаления покрытий и выполнять большие объемы ремонтно-восстановительных работ.

Более мощные ресайклеры (моделей W 380 CR и W 380 CRi) используют для выполнения крупных ремонтно-восстановительных работ. Для расширения их технологических возможностей фрезерно-смесительный барабан перенастраивают на ширину 3,2, 3,5 и 3,8 м, для чего устанавливают дополнительные уширители барабана, его корпуса и распределительных рампы. Эти модели содержат следующий набор рабочих органов: фрезерно-

смесительный барабан с изменяющейся шириной, системы подачи воды, вяжущих и функциональных добавок, конвейер-питатель и разрушочный конвейер. У этих моделей также отсутствуют органы, обеспечивающие распределение и уплотнение гранулята. Поэтому машину оснащают задним складным поворотным разгрузочным конвейером, с помощью которого восстановленную смесь подают в бункер следующего за ним асфальтоукладчика.

Соответственно, технологический комплекс машин на их основе включает автоцистерны с битумом и водой, распределитель вяжущего, ресайклер (моделей W 380 CR или W 380 CRi), асфальтоукладчик и тандемный каток.

В смесительный отсек вращающегося фрезерно-смесительного барабана, помимо функциональных добавок, подают воду, объем которой регулируют насосом с микропроцессорным управлением для обеспечения оптимальной влажности полученной смеси. Вяжущие жидкой консистенции, такие как цементно-водная суспензия или битумная эмульсия, отдельно друг от друга или в их комбинации добавляют в смесительный отсек барабана таким же способом. Через отдельную распределительную рампу в смесительный отсек добавляют вспененный битум.

Управление технологическим процессом осуществляют блоком микропроцессоров, которые контролируют рабочую скорость и работу рулевого управления, управляют работой двигателя, сцепления и тормозной системой, а также положением фрезы. Дозированием вяжущих с учетом скорости машины управляет электронный блок. Принимая входные сигналы с датчиков скорости и расходомера битумной эмульсии и воды, он регулирует производительность насосов подачи вяжущих.

Система подачи битумной эмульсии включает битумный насос, расходомер, распределительную трубу с соплами и клапанами, равномерно распределенными по ее длине.

Система подачи воды также содержит центробежный насос, расходомер и распределительную трубу с соплами.

Наличие направляющих пластин позволяет восстанавливать за один проход полосу, ширина которой превышает рабочую ширину машины, за счет предварительного фрезерования смежных полос покрытия.

Другие известные производители дорожной техники используют те же концептуальные принципы ресайклинга, но со своими конструктивными и технологическими особенностями.

Ресайклеры оснащают механическими, ультразвуковыми или лазерными системами нивелирования, датчиками поперечного уклона и другими устройствами, позволяющими повысить качество выполняемых работ.

В арсенале фирмы Wirtgen имеется ресайклер модели W 2200 CR, который в качестве дополнительной опции оснащают распределительным и

уплотнительным рабочими органами. Распределительный орган включает шнек с разравнивающим брусом, а уплотнительный – раздвижной трамбуемый брус с возможностью изменения его высоты, наклона и длины. По конструкции и дизайну он соответствует ресайклеру W 3800 CR.

Одной из немногих машин, имеющих набор рабочих органов для реализации практически всего цикла восстановления или устройства АБ покрытий (за исключением окончательного уплотнения), является ресайклер на гусеничном ходу модели WR 4200 фирмы «Wirtgen». На рисунке 8.9 представлена схема его компоновки.

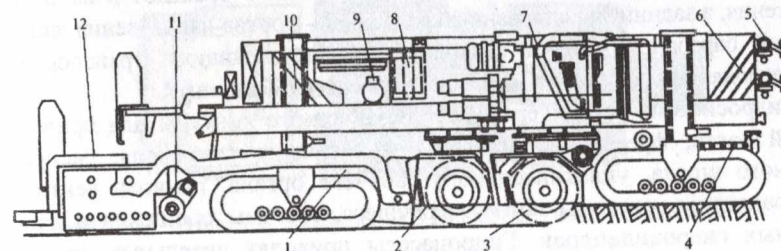


Рисунок 8.9 – Схема ресайклера большого типоразмера:

1 – двуххвальный смеситель; 2 – фрезерный барабан; 3 – фрезы vario; 4 – устройство для подачи вспененного битума; 5 – бак для битумной эмульсии; 6 – бак для воды; 7 – силовая установка; 8 – масляный бак; 9 – устройство подогрева вспененного битума; 10 – топливный бак; 11 – распределительный шнек; 12 – трамбуемый брус и выглаживающая плита

Машину снабжают двумя дизельными двигателями мощностью по 433 кВт каждый, которые приводят рабочее оборудование и другие системы машины. Ее оснащают тремя фрезерными барабанами, двуххвальным смесителем, конвейерами-питателями, распределительным шнеком и уплотнительным органом, состоящим из трамбуемого бруса и виброплитой с регулируемой шириной (в пределах 3,0–5,0 м), а также баками для новых компонентов (минеральных материалов, цемента, воды, битумной эмульсии и др.). Кроме того, машина имеет автоматизированные системы дозирования битумной эмульсии, воды, вспененного битума, цемента и цементно-водной суспензии.

Кожух фрезерного барабана спереди и сзади снабжают гидрофицированными щитами, которые являются дробильными щеками. Изменяя их положение, управляют степенью измельчения гранулята. На крышке кожуха смесителя устанавливают держатели для распределителей и сопла для всех компонентов вяжущих. Перед задним барабаном устанавливают дробильную планку, которая препятствует выламыванию крупных плит асфальтобетона.

Технологический процесс рециклинга включает фрезерование старого асфальтобетона фрезами 2 и 3, его смешение с новым вяжущим и другими компонентами в смесителе 1, перемещение конвейером и распределение шнеком 11 полученной смеси на дорожном полотне, уплотнение вибробрусом 12 и выравнивающей плитой. Фрезерование старого покрытия и равномерное измельчение его материала производят тремя фрезерными барабанами диаметром 1000 мм, находящимися в рабочей камере. Два передних барабана 3 могут плавно смещаться в поперечном направлении по направляющим для изменения рабочей ширины в пределах 3,0–5,0 м. Барабаны 3 вращают в направлении движения, а задний фиксированный барабан 2 – против направления движения. Задний барабан оснащают скребками, обеспечивающими транспортировку сфрезерованного материала из рабочей камеры в смеситель 1.

Гидросистема ресайклера имеет независимые контуры для привода ходовой части, фрезерного агрегата, двухвального смесителя, распределительного шнека, уплотнительного рабочего органа, привода вентилятора для радиатора, системы подачи вяжущего, системы орошения и исполнительных гидроцилиндров. Гидронасосы приводят дизельным двигателем через редуктор насосов.

Варьируемая на ходу скорость вращения барабана позволяет корректировать состав смеси и оптимизировать качество смешивания.

Ресайклер WR 4200 является самой мощной автономной машиной с полным набором рабочих органов. Менее мощные рециклеры на гусеничном ходу для рециклинга покрытий оснащают дополнительным оборудованием.

Помимо самоходных машин для относительно небольших объемов восстановительных работ применяют навесные установки. В их числе устройства «Wirtgen» серии WS (см. таблицу 8.1) с задней навеской оборудования, которые превращают базовый пневмоколесный трактор в стабилизатор почвы, преобразующий и укрепляющий несвязанные грунты.

На рисунке 8.10 представлен навесной ресайклер, буксируемый пневмоколесным трактором. Его оснащают фрезерно-смесительным барабаном, который располагают в корпусе, передняя и задняя стенки которого являются дробильными щитами, а резиновые брызговики предотвращают разбрасывание камней и минимизируют образование пыли. Регулируемые по высоте боковые щиты оборудуют полозьями, что предотвращает потери мощности из-за углубленной посадки ресайклера.

Ресайклер перемешивает предварительно распределенное вяжущее (цемент и др.) с грунтом, распределяет и уплотняет полученную смесь на дорожном полотне. Комплект машин для работ по стабилизации грунта включает распределитель вяжущего (например, Streumaster SW 16 TC), навесной стабилизатор грунта (например, серии WS) и грунтовой каток.

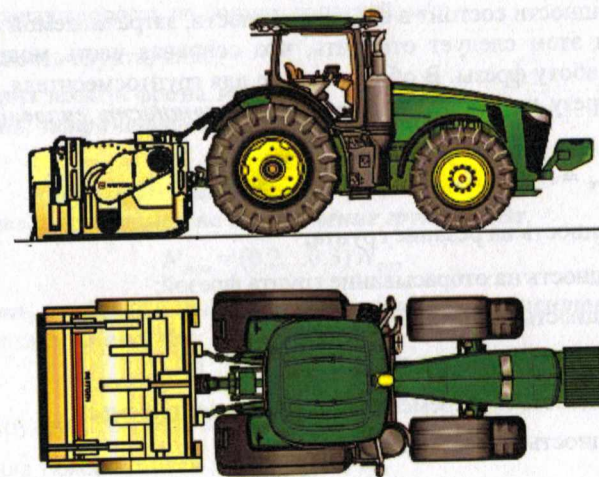


Рисунок 8.10 – Навесной ресайклер WS 250 на базе пневмоколесного трактора

Расчеты грунтосмесителей и рециклеров.

При проектировании грунтосмесителей определяют основные характеристики машины, производят тяговый расчет, оценивают баланс мощности и др. К основным характеристикам относят частоту вращения барабана фрезы, толщину срезаемого слоя, мощность силовой установки, эксплуатационную производительность и др.

Частота вращения фрезерного барабана, с⁻¹,

$$n_{\text{бар}} = \frac{v_{\text{рез}}}{\pi D_{\text{бар}}}, \quad (8.1)$$

где $v_{\text{рез}}$ – линейная скорость резцов относительно грунта, $v_{\text{рез}} = 9 \dots 14$ м/с;

$D_{\text{бар}}$ – диаметр фрезерного барабана по режущим кромкам резцов, м.

Толщина срезаемой стружки грунта, м, зависит от многих факторов, в том числе от категории трудности его разработки, от числа резцов, одновременно взаимодействующих с грунтом, от мощности, которая затрачивается на его разрушение. Принимают следующие толщины стружки, м, срезаемой одним резцом фрезы:

$$c = \begin{cases} 0,002 & \text{– для связного грунта,} \\ 0,005 & \text{– для несвязного грунта.} \end{cases}$$

Рабочая поступательная скорость фрезы, м/с,

$$v_{\text{раб}} = czn_{\text{бар}}, \quad (8.2)$$

где z – число резцов в сечении фрезы, $z = 2 \dots 4$.

Баланс мощности состоит в оценке мощности, затрачиваемой на рабочий процесс. При этом следует отметить, что основная часть мощности расходуется на работу фрезы. В общем случае для грунтосмесителя, имеющего рыхлитель, фрезу и двухвальный смеситель, **мощность силовой установки**, кВт,

$$N_{\text{гс}} = N_{\text{рез}} + N_{\text{отб}} + N_{\text{рых}} + N_{\text{изм}} + N_{\text{меш}} + N_{\text{пер}} + N_{\text{тр}}, \quad (8.3)$$

где $N_{\text{рез}}$ – мощность на резание грунта;

$N_{\text{отб}}$ – мощность на отбрасывание грунта фрезой;

$N_{\text{рых}}$ – мощность на рыхление грунта;

$N_{\text{изм}}$ – мощность на измельчение грунта;

$N_{\text{меш}}$ – мощность на перемешивание компонентов смеси;

$N_{\text{пер}}$ – мощность на перемещение машины;

$N_{\text{тр}}$ – мощность, затрачиваемая в трансмиссии машины.

Выражение (8.3) следует корректировать в зависимости от числа рабочих органов грунтосмесителя.

Мощность, затрачиваемая на резание материала, кВт,

$$N_{\text{рез}} = k_p b_p c h_p z n_{\text{бар}}, \quad (8.4)$$

где k_p – удельное сопротивление грунта резанию, кПа,

$$k_p = \begin{cases} 70 \dots 80 & \text{для грунта I категории,} \\ 130 \dots 140 & \text{для грунта II категории,} \\ 200 \dots 220 & \text{для грунта III категории;} \end{cases}$$

b_p – ширина режущей кромки одного резца, м;

h_p – глубина резания, м.

Если грунт предварительно разрыхлен, то значения мощности следует уменьшить на 15–20 %.

Мощность, расходуемая на отбрасывание грунта фрезой, кВт,

$$N_{\text{от}} = 10^{-3} k_{\text{от}} \frac{m v_{\text{окр}}^2}{2} = 10^{-3} k_{\text{от}} \frac{\rho B h_p v_{\text{раб}} v_{\text{окр}}^2}{2}, \quad (8.5)$$

где $k_{\text{от}}$ – коэффициент отбрасывания грунта,

$$k_{\text{от}} = \begin{cases} 0,75 & \text{для узких лопастей,} \\ 1,0 & \text{для широких лопастей;} \end{cases}$$

m – масса грунта, отбрасываемого в единицу времени, кг/с;

$v_{\text{окр}}$ – окружная скорость на концах лопастей, м/с;

ρ – плотность грунта, кг/м³;

B – ширина захвата фрезы, м.

Мощность, затрачиваемая на рыхление, кВт,

$$N_{\text{рых}} = (1,15 \dots 1,20) N_{\text{рез}}. \quad (8.6)$$

Мощность, расходуемая на измельчение грунта, кВт,

$$N_{\text{изм}} = (0,2 \dots 0,3) N_{\text{рез}}. \quad (8.7)$$

Мощность, необходимая для перемешивания компонентов в двухвальном смесителе, кВт,

$$N_{\text{меш}} = 12 v_{\text{лоп}} G_c, \quad (8.8)$$

где $v_{\text{лоп}}$ – окружная скорость лопастей, м/с;

G_c – сила тяжести смеси в смесителе, кг.

Мощность, расходуемая на перемещение фрезы, кВт,

$$N_{\text{пер}} = 10^{-3} \frac{(f+i) G_c v_{\text{раб}}}{\eta_{\text{пр}}}, \quad (8.9)$$

где f – коэффициент сопротивления передвижению;

i – уклон рабочей поверхности;

G_c – сила тяжести грунтосмесителя, Н;

$\eta_{\text{пр}}$ – КПД привода машины.

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления трению в трансмиссии от вала отбора мощности до вала рабочего органа, кВт,

$$N_{\text{тр}} = 10^{-3} \frac{N_{\text{рез}} + N_{\text{от}}}{1 - \eta_{\text{тр}}}, \quad (8.10)$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии.

Расчет фрезерного барабана и его трансмиссии производят по **максимальному крутящему моменту**, кН·м, с учетом динамических нагрузок

$$T_{\text{макс}} = k_{\text{дин}} T_{\text{кр}}, \quad (8.11)$$

где $k_{\text{дин}}$ – коэффициент динамичности, $k_{\text{дин}} = 1,5 \dots 2,0$;

$T_{\text{кр}}$ – крутящий момент на валу фрезерного барабана, кН·м,

$$T_{\text{кр}} = \frac{1}{2\pi\eta_{\text{бар}}} (N_{\text{гс}} - N_{\text{пер}} - N_{\text{тр}} - N_{\text{меш}}) n_{\text{бар}}, \quad (8.12)$$

где $\eta_{\text{бар}}$ – КПД трансмиссии от двигателя до фрезерного барабана.

Конструктивные элементы фрезерного барабана (стойки, кронштейны) определяют с учетом окружного усилия на барабане, кН,

$$P_{\text{окр}} = \frac{2T_{\text{макс}}}{D_{\text{бар}}}$$

Производительность грунтосмесителя, м³/ч,

$$P_{\text{гс}} = 3,6 \cdot 10^3 k_b (B - a_n) h_p v_{\text{раб}}, \quad (8.13)$$

где k_b – коэффициент использования машины по времени, $k_b = 0,80 \dots 0,85$;

a_n – размер перекрытия соседних полос, $a_n = 0,1 \dots 0,2$ м.

При проектировании рециклеров производят тяговый и энергетический расчеты, определяют параметры машины и отдельных рабочих органов, производят расчеты гидравлической системы и подбор гидрооборудования для управления рабочими органами и агрегатами.

Основными характеристиками рециклеров являются масса машины и мощность ее силовой установки, ширина и толщина сфрезерованного и нанесенного слоя покрытия, объемы емкости для вяжущего и бункера для смеси, а также рабочие и транспортные скорости.

Тяговый расчет проводят на основе анализа уравнения тягового баланса. Для рециклера, оснащенного комплектом рабочих органов для холодного восстановления АБ покрытий, общая сила сопротивления в рабочем режиме включает сопротивления фрезерованию холодного асфальтобетона $W_{\text{ф}}$ и перемещению машины $W_{\text{пер}}$.

Сопротивление фрезерованию холодного асфальтобетона, Н,

$$W_{\text{ф}} = k_p b_{\text{ф}} h_{\text{ф}}, \quad (8.14)$$

где k_p – коэффициент удельного сопротивления фрезерованию холодного асфальтобетона, $k_p = 4 \dots 10$ МПа;

$b_{\text{ф}}$ – ширина фрезерования, м;

$h_{\text{ф}}$ – глубина фрезерования, м.

Сопротивление перемещению рециклера, Н,

$$W_{\text{пер}} = (f_1 + i) G_p, \quad (8.15)$$

где f_1 – коэффициент сопротивления перемещению машины, $f_1 = 0,06 \dots 0,12$;

i – уклон пути, $i = 0,03 \dots 0,07$;

G_p – сила тяжести рециклера, Н.

Силами сопротивления, связанными с взаимодействием рабочих органов с укладываемой смесью, можно пренебречь.

Для преодоления сил сопротивления, возникающих при работе машины, должно выполняться условие

$$T \geq W, \quad (8.16)$$

где T – сила тяги силовой установки, Н;

$$W = W_{\text{ф}} + W_{\text{пер}}.$$

Сила тяги, Н,

$$T = \frac{\eta_{\text{тр}} u_{\text{тр}} N_{\text{дв}}}{n_{\text{кол}} \omega_{\text{д}} r_{\text{кол}}}, \quad (8.17)$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии рециклера;

$u_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии;

$N_{\text{дв}}$ – мощность двигателя, Вт;

$n_{\text{кол}}$ – число ведущих колес;

$\omega_{\text{д}}$ – угловая скорость вращения вала двигателя, с⁻¹;

$r_{\text{кол}}$ – радиус ходового колеса, м.

Мощность силовой установки машины в общем случае расходуется на привод:

- механизма передвижения в рабочем режиме;
- фрезерного барабана;
- распределительного шнека;
- смесителя;
- трамбуемого бруса;
- выравнивающей плиты;
- вспомогательных механизмов.

Для определения мощности, кВт, используют следующие выражения:

1) для механизма перемещения рециклера

$$N_{\text{пер}} = 10^{-3} \frac{W v_p}{\eta_{\text{т}}}, \quad (8.18)$$

где v_p – скорость рабочего хода, м/с;

$\eta_{\text{т}}$ – КПД трансмиссии рециклера;

2) для привода фрезы

$$N_{\text{фр}} = 10^{-3} \frac{W_{\text{фр}} \omega_{\text{фр}} R_{\text{фр}}}{\eta_{\text{нф}}}, \quad (8.19)$$

где $\omega_{фр}$ – угловая скорость вращения фрезерного барабана, $\omega_{фр} \leq 0,15$ рад/с;

$R_{фр}$ – радиус фрезы по режущим зубьям, м;

$\eta_{пф}$ – КПД привода фрезы;

3) для привода распределительного шнека

$$N_{ш} = 10^{-3} \frac{k_{см} k_{ш} g z_{ш} L_{ш} \Pi_{ш}}{3,6 \eta_{ш}}, \quad (8.20)$$

где $k_{см}$ – коэффициент, учитывающий напор смеси при движении рециклера, $k_{см} = 3$;

$k_{ш}$ – коэффициент сопротивления при работе шнека, $k_{ш} = 4 \dots 5$;

$z_{ш}$ – число шнеков;

$L_{ш}$ – путь перемещения смеси вдоль шнеков по ширине (для двух шнеков $L_{ш} = B$), м;

$\Pi_{ш}$ – производительность шнека, равная производительности рециклера по укладке смеси, т/ч.

$\eta_{ш}$ – КПД привода шнека, $\eta_{ш} = 0,9$;

4) для привода смесителя

$$N_{см} = k_d g Q_{см} v_l, \quad (8.21)$$

где k_d – коэффициент динамичности при пуске смесителя под нагрузкой,

$k_d = 2,0 \dots 2,5$;

$Q_{см}$ – вместимость смесителя, т;

v_l – линейная скорость конца лопасти смесителя, м/с,

$$Q_{см} = \frac{\Pi_{см} t_{см}}{60},$$

$\Pi_{см}$ – техническая производительность смесителя, т/ч,

$$\Pi_{см} = 1,6 \Pi_{фр},$$

$t_{см}$ – время нахождения смеси в смесителе, мин.

$\Pi_{фр}$ – техническая производительность рециклера по фрезерованию, т/ч,

$$\Pi_{фр} = 3600 \rho_{АБ} b_f h_f v_p, \quad (8.22)$$

где $\rho_{АБ}$ – плотность АБ смеси, $\rho_{АБ} = 2200 \dots 2300$ кг/м³;

5) для привода трамбующего бруса

$$N_{бр} = N_{бр}^{уд} b_{бр}, \quad (8.23)$$

где $N_{бр}^{уд}$ – удельная мощность на привод трамбующего бруса, $N_{бр}^{уд} = 0,4 \dots 0,6$ кВт/м;

$b_{бр}$ – длина трамбующего бруса, равная ширине укладки слоя, м;

6) для привода вибрационной плиты

$$N_{пл} = N_{вв} z_{вв}, \quad (8.24)$$

где $N_{вв}$ – мощность привода одного вибровозбудителя с дебалансом, равным 1,5–2,0 мм, $N_{вв} = 1,0 \dots 1,5$ кВт;

$z_{вв}$ – число вибровозбудителей на плите;

7) для привода вспомогательных механизмов

$$N_{всп} = 1,5 \dots 2,0 \text{ кВт}. \quad (8.25)$$

Таким образом, общая мощность, затрачиваемая на рабочий процесс,

$$N_{дв} = N_{пер} + N_{фр} + n_{ш} N_{ш} + N_{см} + n_{бр} N_{бр} + n_{пл} N_{пл} + N_{вс}, \quad (8.26)$$

где $n_{ш}$, $n_{бр}$, $n_{пл}$ – число шнеков, брусьев и плит соответственно.

Эксплуатационную производительность рециклера, м²/ч, определяют в зависимости от поставленной задачи по формулам

$$\Pi_{рц} = 3,6 \cdot 10^3 k_b b_f v_p \quad (8.27)$$

или

$$\Pi_{рц} = 3,6 \cdot 10^3 k_b b_f h_f v_p. \quad (8.28)$$

Контрольные вопросы

- 1 В чем состоят конструктивные и технологические отличия грунтосмесителя и рециклера?
- 2 Классифицируйте холодный рециклинг по основным признакам.
- 3 Назовите составы технологических комплексов для стабилизации слабых грунтов и холодного рециклинга дорожной одежды в зависимости от агрегатного состояния вяжущих.
- 4 Изобразите схему рабочих органов грунтосмесителя.
- 5 Дайте классификацию грунтосмесителей и ресайклеров по основным признакам.
- 6 Назовите основные рабочие органы ресайклеров, необходимые для восстановления дорожной одежды.
- 7 Приведите тяговый расчет ресайклера.
- 8 Какие составляющие мощности следует учитывать при оценке баланса мощности ресайклера в рабочем режиме?
- 9 Напишите формулу для определения мощности механизма передвижения ресайклера.
- 10 Напишите формулы для оценки эксплуатационной производительности грунтосмесителя и ресайклера.

9 МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

9.1 Особенности технологических процессов ремонта

Ремонт дорожных покрытий является затратным мероприятием и требует освоения ресурсосберегающих технологий, направленных на сохранение или улучшение технико-эксплуатационных характеристик покрытий, а также на увеличение срока службы дорожной одежды и дороги в целом.

Ремонтом дорожных покрытий называют комплекс мероприятий по устранению дефектов покрытий, который обеспечивает поддержание или повышение их работоспособности. В зависимости от значимости поставленных и решаемых задач (сохранения, восстановления или улучшения технико-эксплуатационных показателей) различают текущий, средний и капитальный ремонты асфальто- и цементобетонных покрытий.

Текущий ремонт АБ покрытий состоит в выполнении работ по восстановлению технико-эксплуатационных характеристик покрытий и включает устранение отдельных повреждений и разрушений покрытий в виде трещин, выбоин, просадок, сдвигов, наплывов и колея. Трещинообразование является одной из основных причин развития более серьезных повреждений покрытий. Поэтому своевременное устранение трещин способствует сохранению их работоспособности.

Средний ремонт АБ покрытий состоит в производстве дорожных работ по восстановлению и улучшению технико-эксплуатационных характеристик покрытий. Этот вид ремонта включает периодическое восстановление слоя износа покрытия и создание шероховатой поверхности покрытия. Для этого используют поверхностную обработку покрытий по методам раздельного или синхронного распределения щебня заданной фракции и вяжущего.

Капитальный ремонт АБ покрытий – это комплекс мероприятий, направленных на полное восстановление и повышение работоспособности покрытий за счет ремонта покрытий, других слоев дорожной одежды или даже земляного полотна. Капитальный ремонт может производиться как с удалением, так и без удаления покрытия. В настоящее время используют два основных вида капитального ремонта АБ покрытий:

1) восстановление покрытий традиционным способом, т. е. укладкой и уплотнением горячей АБ смеси, приготовленной на заводе из новых, не использованных ранее компонентов;

2) восстановление покрытий за счет повторного (частичного или полного) использования материала старого покрытия.

Текущий ремонт ЦБ покрытий включает заделку поврежденных швов и трещин, выбоин и раковин, устранение местных просадок и смещения смежных плит, а также шелушения поверхностных слоев. Его целесообразно проводить, если повреждено не более 3 % общей площади дорожного участка.

Средний ремонт ЦБ покрытий состоит в замене отдельных плит или пришедших в негодность их частей, устранении перекосов и проседаний плит, ремонте их стыков и др. В ряде случаев на отдельных участках дороги формируют слои поверхностной обработки.

Капитальный ремонт ЦБ покрытий, как правило, состоит в упрочнении имеющегося покрытия нанесением дополнительного слоя АБ или ЦБ покрытий. Предпочтение отдают АБ покрытиям, имеющим высокую ремонтпригодность.

9.2 Оборудование для текущего ремонта асфальтобетонных покрытий

Из технологических процессов текущего ремонта наиболее распространенными являются технологии ямочного ремонта. К ним относятся методы горячего и холодного рециклинга (восстановления) повреждений АБ покрытий.

Термины «горячее» и «холодное» восстановление означают, что вяжущие компоненты ремонтных материалов находятся в исходном состоянии при различных температурах. Горячее восстановление производят при нагреве смеси в интервале температур от 120 до 240 °С (в зависимости от метода восстановления и свойств вяжущего), холодное – при температуре окружающей среды, но не ниже 5 °С. Как правило, ремонтные работы выполняют в теплое и сухое время года (при температуре не ниже 5 °С).

Для горячего рециклинга повреждений АБ покрытий используют мелкозернистые и литые асфальтобетонные смеси, для холодного рециклинга – эмульсионно-минеральные смеси.

Мелкозернистые асфальтобетонные смеси содержат битум и мелкозернистый щебень (с размером частиц до 20 мм) и отличаются высокой стойкостью асфальтобетона к механическим и атмосферным воздействиям. Ямочный ремонт с их использованием является самым распространенным и доступным из-за наличия необходимых материалов и отработанной технологии. Как было отмечено, температура нагрева ремонтируемого участка должна составлять 120–160 °С. Качество ремонта горячей смесью и долговечность восстановленного покрытия зависят от соблюдения технологического регламента ямочного ремонта – условий проведения подготовительных работ, укладки и уплотнения смеси, а также температуры смеси и влажности обрабатываемой поверхности.

Литые асфальтобетонные смеси отличаются от традиционных смесей увеличенным содержанием асфальтового вяжущего (битума до 7,5–10,0 мас. % и минерального порошка до 20–30 мас. %). Наличие большого количества вяжущих компонентов обуславливает высокую текучесть литых смесей, которые при остывании приобретают необходимую плотность без принудительного уплотнения.

Несмотря на более высокую стоимость литых смесей (на 10–25 % больше стоимости традиционных смесей), их применение при ремонте и строительстве дорожных покрытий дает экономию благодаря более длительным срокам эксплуатации. Однако высокая температура приготовления (до 260 °C) и укладки (до 200–240 °C) сдерживает их широкое применение.

Холодные эмульсионно-минеральные смеси (ЭМС), состоящие из мелкого щебня (с размером частиц до 15 мм) и катионной битумной эмульсии с модифицирующими добавками, готовят на асфальтобетонных заводах или на месте их укладки в специальных машинах.

Неотложный текущий ремонт с их использованием является наиболее оперативным, поскольку в аварийных ситуациях дефектный участок не разделяют фрезой, не нагревают и не обрабатывают битумными грунтовками. Однако при этом прочность ремонтного материала оказывается в 1,5–3,0 раза ниже, чем прочность асфальтобетона из мелкозернистых смесей.

При плановом ямочном ремонте (с использованием холодных смесей) ремонтируемый участок готовят более тщательно: во-первых, его очищают струйными воздуходувками или вакуумными устройствами; во-вторых, обрабатывают битумной эмульсией для повышения прочности сцепления уложенного материала с основанием ремонтируемого покрытия.

Наиболее распространенными и эффективными считают струйно-инъекционный (на постсоветском пространстве – метод набрызга) и вакуумно-струйно-инъекционный методы ямочного ремонта. Продолжительность выполнения ремонтных работ с применением этих методов занимает значительно меньше времени по сравнению с традиционными способами (с применением горячих и литых смесей), что позволяет отнести их к скоростным методам ямочного ремонта.

Качество ремонта и долговечность отремонтированных участков зависят от многих факторов, но преобладающим является соблюдение технологических режимов ремонта по подготовке, проведению и уплотнению дефектных мест покрытий. При выполнении этих условий в ряде стран дорожники дают гарантию на пятилетний срок службы отремонтированных участков. Ямочный ремонт, выполненный без тщательной подготовки и соблюдения других правил и требований, служит, как правило, в 2–4 раза меньше.

Основные методы текущего ремонта покрытий разделяют на следующие группы:

1) **разогрев дефектных участков** (волн, бугров, наплывов и др.) и **уплотнение** – при отсутствии разрывов покрытий и при наличии неглубоких трещин;

2) **очистка, просушка, заполнение вяжущим** – при наличии трещин шириной до 5 мм;

3) **очистка, просушка, заливка вяжущим, присыпка дробленым сухим песком** – при наличии трещин с неповрежденной кромкой шириной более 5 мм;

4) **разделка (расширение), очистка, просушка, заливка вяжущим, присыпка** – при наличии трещин с поврежденной кромкой шириной более 5 мм;

5) **ямочный ремонт** – при наличии ям и выбоин – методами горячего и холодного рециклинга, а также методами пропитки и обратной пропитки щебня вяжущими.

При выборе метода устранения повреждений большое значение имеет их протяженность. При наличии на покрытии сетки мелких трещин требуется ремонт всего покрытия. Если же эта сетка трещин связана с потерей устойчивости земляного полотна, то необходим ремонт основания дорожной одежды. Эти соображения относятся и к другим дефектам, в том числе выбоинам. Если они находятся на небольшом расстоянии друг от друга, их объединяют в общую карту ремонта.

Ямочный ремонт включает следующие операции:

– формирование карты ямочного ремонта, т. е. прямоугольного выреза АБ покрытия с помощью барабанной фрезы (или отбойного молотка);

– очистка карты сжатым воздухом с помощью компрессора или ее вакуумная обработка пневмовacuумной подметально-уборочной машиной;

– грунтовка поверхностей карты горячим битумом или битумной эмульсией;

– укладка АБ смеси (или ЭМС) и заполнение ремонтируемой карты с запасом на уплотнение;

– уплотнение уложенной смеси виброплитой или виброкатком.

На рисунке 9.1 представлена принципиальная схема ямочного ремонта с использованием битумной эмульсии в виде основных технологических операций, включая последнюю – бронирование, т. е. засыпку отремонтированного участка защитным слоем чистого щебня.



Рисунок 9.1 – Принципиальная схема ямочного ремонта эмульсионно-минеральной смесью

При необходимости неотложного ямочного ремонта и в отсутствие струйно-инъекционной техники нередко используют ручной метод пропитки щебня горячим битумным вяжущим непосредственно в выбоине. Для этих же целей подходит метод обратной пропитки: сначала заполняют выбоину горячим битумным вяжущим, а затем – щебнем с последующим уплотнением.

В ряде случаев стадию грунтовки поверхности карты дополняют (или даже заменяют) прокладкой стыковочной битумно-полимерной ленты, уложенной по периметру ремонтируемой карты. При укладке в карту горячей АБ смеси лента плавится и заполняет пустоты в сопряжениях между основой и ремонтным материалом, обеспечивая их дополнительную гидроизоляцию.

Для обеспечения комплексной механизации работ по ямочному ремонту и ремонту трещин с применением указанных ремонтных материалов используют специализированное оборудование или машины с вспомогательным оборудованием, обеспечивающим выполнение всех или некоторых операций по ямочному ремонту. Широкий спектр машин и оборудования для ямочного ремонта и ремонта трещин выпускают отечественные производители [8].

Машины для укладки мелкозернистых АБ смесей работают по методу горячего восстановления дефектных участков покрытий. Они имеют разную комплектность дополнительного технологического оборудования, а также различные рабочие органы, распределяющие смесь (разбрасывающий диск, распределительную тележку с лотком или разгрузочный шнек).

Самой простой по конструкции является дорожная машина (схема ее рабочего оборудования приведена на рисунке 9.2), которая позволяет реализовать только одну операцию ремонта – распределение смеси при помощи разбрасывающего диска 6. Она представляет собой кузов 1, смонтированный на раме 3, которую крепят к шасси автомобиля при помощи стремянок. Смесь из кузова подают цепным транспортером к заднему борту, который оборудован шиберной заслонкой и разбрасывающим диском, распределяющим смесь по обрабатываемой поверхности.

Кузов для материала не имеет возможности обогрева, что приводит к быстрому остыванию АБ смеси. Кроме того, неравномерность подачи материала с помощью диска требует дополнительного применения ручного инструмента, что значительно снижает производительность и качество работ.

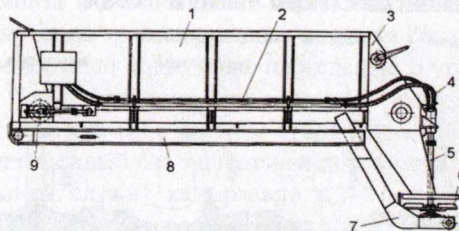


Рисунок 9.2 – Схема рабочего оборудования для укладки АБ смесей:
1 – кузов; 2 – транспортер; 3 – задний борт; 4 – гидросистема; 5 – вал диска;
6 – разбрасывающий диск; 7 – раздаточный лоток; 8 – рама; 9 – привод транспортера

Более широкими возможностями располагают дорожные ремонтные машины, которые механизуют ямочный ремонт и снижают долю ручного труда. Они различаются между собой типом привода (электрическим или пневматическим) дополнительного рабочего оборудования, которое позволяет проводить большинство операций ямочного ремонта.

Следует отметить, что производители дорожной техники стремятся обеспечить всесезонное использование таких машин, сочетая ямочный ремонт в летний период с патрульной снегоочисткой и распределением антигололедных материалов в зимний. Поэтому их шасси оснащают монтажной плитой с гидравлическими коммуникациями для навешивания снежных плугов и подметальных щеток.

Ремонтные машины бывают прицепными и самоходными (на шасси грузового автомобиля). Как правило, их оснащают оборудованием не только для горячего, но и для холодного восстановления дорожных покрытий. В их числе обогреваемый бункер-термос для горячей АБ смеси с устройством для ее перемешивания, подачи и распределения; емкости для минеральных материалов и битумной эмульсии с системой подогрева и распределения; газовое оборудование с блоком горелок инфракрасного излучения, а также гидро- и пневмоинструмент (отбойные молотки, виброплиты и др.). Кроме того, машины снабжают контейнерами для сбора раздробленного старого асфальтобетона, а также ручными горелками для удаления влаги и подогрева кромок ремонтируемой ямы. Некоторые модели оборудуют электрогенераторами с приводом от двигателя базового шасси, которые обеспечивают электроэнергией рабочее оборудование (компрессоры, отбойные электромолотки, электровибротрамбовки, электровиброкатки, обрезчики кромок и др.).

Подобного рода ремонтные машины выпускают многие фирмы ближнего и дальнего зарубежья, в том числе российские, американские, немецкие, голландские, датские и др. Они различаются набором и составом дополнительного рабочего оборудования, а также типом их привода. Основные характеристики рассмотренных машин для ямочного ремонта покрытий с использованием мелкозернистых АБ смесей представлены в таблице 9.1.

Важной проблемой является переработка гранулята старого асфальтобетона, который образуется при вырубке карт ремонтируемой ямы и фрезеровании поврежденного покрытия. Для этого производят специальное оборудование, которое выпускают у нас в стране и за рубежом. В их числе малогабаритные рециклеры или установки для регенерации асфальтобетона (ПМ-107 РУП «Белдортехника», ЕМ-3200 производства «Евромаш» (Республика Беларусь), РА-802 ОАО «Кредмаш» (Украина) и т. д.). Их оснащают вращающейся теплоизолированной емкостью, в которой происходит разогрев

гранулята с добавлением битума и минерального материала (щебня, отсева), а также перемешивание получаемой смеси. Емкость имеет с одной стороны загрузочный бункер, а с другой – разгрузочное окно с задвижкой, через которую приготовленную смесь выгружают в распределительную тележку или непосредственно в ремонтируемую яму. Вращение емкости осуществляют гидромотором с приводом от автономного двигателя. Для подогрева смеси в передней части емкости устанавливают горелку, работающую на дизельном топливе.

Помимо специальных установок для переработки старого АБ гранулята ведущие производители дорожной техники выпускают многофункциональные ремонтные машины, которые обладают расширенными технологическими возможностями при проведении ремонта по методу горячего и холодного рециклинга, в том числе с регенерацией асфальтобетона. Для этого их оснащают соответствующим оборудованием:

- дорожной фрезой с бункером для сбора асфальтобетонного гранулята;
- смесительной камерой с подогревом для регенерации старого гранулята;
- бункерами для щебня и битумной эмульсии;
- компрессором для пневматической подачи щебня, эмульсии или литой АБ смеси, а также для подключения отбойного молотка и насадки-воздуходува;
- дозирующими устройствами, регулирующими подачу необходимых компонентов смесей.

Машины для ямочного ремонта укладкой литого асфальтобетона также работают по методу горячего восстановления покрытий.

Для ямочного ремонта укладкой литого асфальтобетона применяют термосы-миксеры – теплоизолированные обогреваемые бункеры, оборудованные механизмами перемешивания и выгрузки литой асфальтобетонной смеси. Их целесообразно классифицировать по следующим признакам:

- 1) по типоразмеру, м^3 , – малой (< 4,5), средней (до 9,0) и большой (> 9,0) вместимости;
- 2) по расположению вала смесителя – горизонтальное и вертикальное;
- 3) по типу привода смесителя – с механическим от автономного двигателя или гидромеханическим от гидросистемы базового шасси;
- 4) по цикличности работы – с непрерывной, порционной и комбинированной выдачей смеси;
- 5) по форме емкости – корытообразные и бочкообразные.

Отечественные дорожные организации эксплуатируют термосы-миксеры различных производителей, основные технические характеристики которых приведены в таблице 9.2. Их монтируют на автомобильном или специальном шасси соответствующей грузоподъемности.

Таблица 9.1 – Технические характеристики машин для ямочного ремонта покрытий укладкой мелкозернистого асфальтобетона

Параметр	ЯР-4М	ДЭ-5	ДЭ-5А	МТРД	ЭД-105.1А	ЭД-105.1	SSG 25 Telomat	ТР-4 AKZO NOBEL
Базовое шасси	МАЗ	ГАЗ-53А	ГАЗ-53А	ГАЗ-53А	ЗИЛ	КАМАЗ	Любое – г/п 8,0 т	ЗИЛ
Производительность, $\text{м}^3/\text{смена}$	40	80	90	30	60	60	55	60
Вместимость бункера, м^3	3,8	0,8	1,0	0,755	3,0	3,0	1,7	4,0
Вместимость емкости для вращающего, м^3	0,3*	0,09	–	0,05	0,6	0,6	0,25	0,3
Тип разогревателя	Газовый	Газовый	Газовый	–	–	–	–	–
Виброподъемник	Виброплита	Электро	Пневмо	–	Ручной	Виброплита	Виброплита	Виброплита
Мощность генератора, кВт	–	4,0	–	12,0	–	–	20,0	–
Производительность компрессора, $\text{м}^3/\text{мин}$	–	0,5	1,0	1,0	0,8	1,0	–	1,0
Рабочее давление пневмосистемы, МПа	–	0,6	0,7	0,35	0,7	0,7	–	0,7
Тип отбойного молотка	Гидро	Электро	Пневмо	Пневмо	–	–	Электро	Пневмо
Масса оборудования, кг	13300	7400	7400	6800	2700 (без шасси)	3650 (без шасси)	3000 (без шасси)	16300

* Вместимость емкости для битумной эмульсии.

Таблица 9.2 – Технические характеристики термосов-миксеров для ямочного ремонта литой асфальтобетонной смесью

Параметр	ОРД-1023	ОРД-1023, 1, 2, 3, 4, 5	ОРД-1023.1.К	ОРД-1025	ОРД-1025.1.М	ОРД-1026	ОРД-1026.1	КДМ-1501	КДМ-1502
Вместимость емкости, т	4,5	До 6,0	6,0	8,0	До 9,0	8,0	9,0	10,6	До 14,0
Привод смесителя	От КОМ автомобиля		Дублированный (от автономного двигателя и КОМ автомобиля)		Дублированный (от автономного двигателя и КОМ автомобиля)		От автономного ДВС		
Частота вращения вала смесителя, мин ⁻¹	4-6	4-6	4-6	4-10	4-10	4-10	4-10	4-10	4-10
Расход топлива для нагрева емкости, л/ч	2	2	4	4	4	4	4	6	6
Мощность одного подогревателя, кВт	25	25-45	45	45	45	45	45	60	60-80
Масса, т	2,7	3,3	3,7	3,8	4,7	1,3	1,9		

Типичная конструкция термоса-миксера представлена на рисунке 9.3. Машина имеет теплоизолированную емкость 4 для АБ смеси, для обогрева которой используют жидкое топливо. Гидромеханический привод 10 от автономного двигателя 11 обеспечивает реверсивное вращение вала смесителя 5, а два гидроцилиндра подъемника 12 – изменение положения емкости.

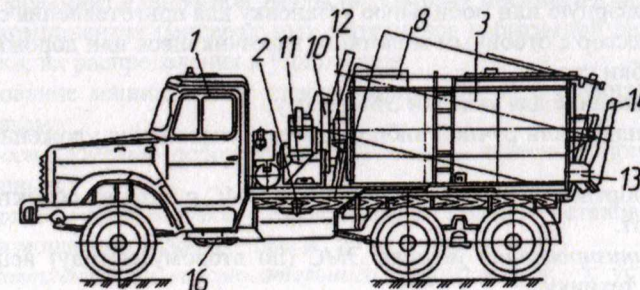
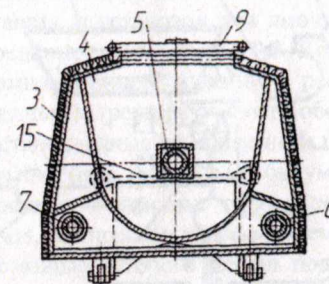


Рисунок 9.3 – Конструкция термоса-миксера типа ОРД:
1 – шасси; 2 – рама; 3 – теплоизолированный кожух; 4 – емкость; 5 – смеситель; 6, 7 – жаровые трубы; 8 – дымоход; 9 – крышка; 10 – привод смесителя; 11 – автономная силовая установка; 12 – подъемник; 13 – подогреватель; 14 – лоток для укладки смеси; 15 – термодатчик; 16 – устройство для отбора мощности



Значительно расширяются технологические возможности термосов-миксеров при наличии комбинированной системы выдачи смеси как порционным, так и поточным методами. Такая система позволяет использовать их как для ямочного, так и для капитального ремонта дорожных покрытий. Некоторые модели, представленные в таблице 9.2, имеют систему бесступенчатого регулирования частоты вращения вала смесителя, что позволяет эффективно смешивать органические и минеральные вяжущие с различными материалами, в том числе с минеральными наполнителями, регенерированным асфальтовым гранулятом, резиновыми и полимерными модификаторами.

Машины для ямочного ремонта укладкой эмульсионно-минеральных смесей реализуют метод холодного восстановления покрытий. При производстве ямочного ремонта автомобильных дорог укладкой эмульсионно-минеральных смесей (ЭМС) используют:

– укладку предварительно приготовленных ЭМС;

– механизированную укладку ЭМС при смешивании компонентов в рабочем органе машины.

Для укладки *предварительно приготовленных ЭМС* (затаренных или приготовленных непосредственно на объекте производства работ) применяют следующие машины и оборудование:

- 1) стационарную или мобильную установку для приготовления смеси;
- 2) компрессор с отбойным молотком, нарезчик швов или дорожную фрезу для вырубки кромок ямы;
- 3) оборудование для укладки ЭМС в яму;
- 4) виброплиту или ручной виброкаток для уплотнения уложенной в яму ЭМС;
- 5) транспортное средство для перевозки ЭМС с базы на объекты производства работ.

Для механизированной укладки ЭМС (по второму методу) используют следующую технику:

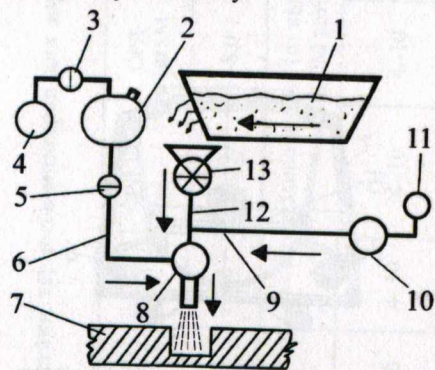


Рисунок 9.4 – Схема струйно-инъекционного метода:

- 1 – бункер для щебня с транспортером-питателем; 2 – емкость для битумной эмульсии с подогревом; 3 – кран промывочной жидкости; 4 – емкость для промывочной жидкости; 5 – эмульсионный кран; 6 – подача битумной эмульсии; 7 – ремонтируемый участок покрытия; 8 – камера смешения щебня с битумной эмульсией; 9 – подача воздуха; 10 – воздушодувка; 11 – воздушный фильтр; 12 – подача щебня; 13 – воздушный замок

- 1) компрессор или дорожную фрезу;
- 2) машину для приготовления, укладки и уплотнения ЭМС;
- 3) виброплиту или виброкаток.

Механизированную укладку осуществляют *струйно-инъекционным методом* путем пневматического транспортирования, смешения компонентов, струйной подачи и распределения ЭМС на обрабатываемой поверхности (этот вид укладки ранее называли *пневмонабрызгом*). На рисунке 9.4 представлена технологическая схема струйно-инъекционного метода. Смешение компонентов осуществляют в камере 8 при подаче в нее битумной эмульсии 6 и сжатым воздухом от компрессора (под давлением до 1 МПа) и щебня 12.

В распылительном сопле камеры смешения образуется эмульсионное облако, проходя через которое частицы щебня обволакиваются эмульсией. Обработанные частицы на выходе из сопла имеют скорость до 30 м/с, что обеспечивает хорошее уплотнение ремонтного материала в яме.

Машины для механизированной укладки ЭМС совмещают несколько технологических операций ямочного ремонта. Все основные операции (приготовление смеси, ее укладку в ремонтируемую яму и уплотнение) осуществляют потоком воздуха. Рабочее оборудование машин для механизированной укладки ЭМС включает бункеры для минеральных материалов (щебня различных фракций) и битумной эмульсии, систему пневматической подачи исходных компонентов (минеральных материалов и битумной эмульсии) в зону укладки, их распределения и уплотнения.

Оборудование машин можно классифицировать по следующим основным признакам:

- 1) *по расположению рабочего оборудования* – навесные, прицепные и полуприцепные;
- 2) *по приводу воздуходувки* – от автономной силовой установки или от вала отбора мощности базового шасси;
- 3) *по комплектации вспомогательного оборудования* – с устройством для очистки щебня, с системой для модифицирования щебня, с уплотнительным устройством (вибро- или пневмотрамбовкой, ручным катком).

Основные технические характеристики машин и установок для ямочного ремонта механизированной укладкой ЭМС представлены в таблице 9.3. Конструкции этих машин отличаются набором комплектующих изделий и расположением (навесным, прицепным и полуприцепным) агрегатов рабочего оборудования. Один из вариантов машины имеет установленные на прицепном шасси двухсекционный бункер для щебня, отдельные баки для воды и битумной эмульсии, дизельный двигатель, который приводит в действие гидросистему шнеков подачи щебня из бункера в щебнепровод, компрессор пневмосистемы и воздуходувку. Она создает поток воздуха, с помощью которого щебень подает по щебнепроводу в рабочий орган (сопло) и смешивают с битумной эмульсией, подаваемой из бака диафрагменным насосом. Полученную ЭМС непрерывно укладывают в ремонтируемую яму, предварительно очищенную водой от грязи и засорителей.

Значительно возрастает долговечность асфальтобетона при ямочном ремонте, если исходные компоненты предварительно очищают и активируют перед смешением. В частности, обработка щебня анионными поверхностно-активными веществами (ПАВ) существенно повышает показатели физико-механических и эксплуатационных свойств ЭМС за счет усиления адгезионного взаимодействия между минеральным материалом и вяжущим.

Реализацию активационных процессов при смешении компонентов ЭМС целесообразно осуществлять в устройстве, которое агрегируют с машинами для ямочного ремонта. Оно представляет собой лопастной или шнековый питатель, в корпусе которого устанавливают форсунки подачи ПАВ. Активацию минерального заполнителя проводят в корпусе питателя при его обработке ПАВ с последующим смешением с вяжущим.

Таблица 9.3 – Технические характеристики машин для ямочного ремонта покрытий механизированной укладкой эмульсионно-минеральных смесей

Параметр	БЦМ-24 УДР-1 УДМ-1	SAVALCO (Швеция)		Turbo Jet T 250 AE (РАСТОМ, Москва)	BLOW- PATCHER (SCHAEFFER, Германия)	TURBO- COMBI (KOBIT, Чехия)	«Тайфун» («До- лерит», РБ)
		SR 800	SR 1500				
Вместимость бункера для щебня, л	До 16000	4400	8500	8000	6000	3000– 7000	6000
Вместимость бака для битумной эмульсии, л	950	800	1500	946	1000	1000	1000
Вместимость бака для воды, л	–	–	–	–	900	–	900
Мощность силовой установки, кВт	41,9	30,0 или отбор мощности от двигателя шасси		58,5	38,5	38,5	38,5
Производительность воз- духодувки, м³/мин	13,0	13,0	13,0	15,5	16,8	12,5	16,8
Давление подачи битум- ной эмульсии, МПа	0,5	0,6	0,6	До 1,0	До 0,8	До 0,7	До 0,8
Масса, т	3,5	2,9	3,5	2,8	3,0	2,4–3,5	4,0
Производительность, м²/смена	120	140	140	120	120	120	120

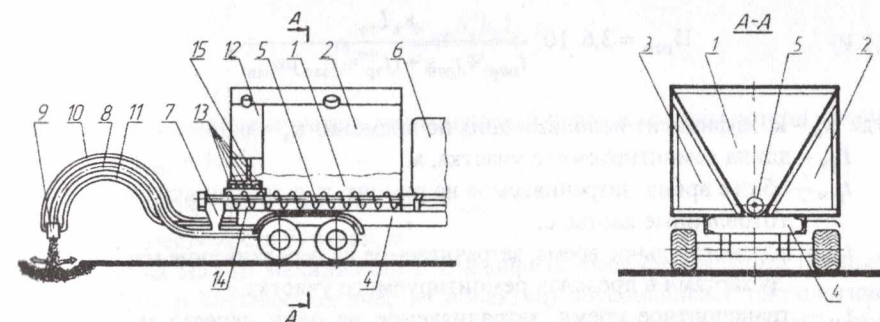


Рисунок 9.5 – Конструкция машины для ямочного ремонта:
1 – бункер для щебня; 2 – бак для воды; 3 – бак для битумной эмульсии; 4 – шасси транспортного средства; 5 – шнек; 6 – силовая установка; 7 – приемный лоток; 8 – гибкий шнекопровод; 9 – сопло; 10, 11, 15 – трубопроводы; 12 – бак для ПАВ; 13 – форсунки; 14 – устройство для активации

Привод узлов и агрегатов машины осуществляют от автономной силовой установки или от базового шасси, в качестве которого можно использовать отечественные МАЗ-53373 или МАЗ-5337. Кроме того, возможен вариант прицепного шасси, которое агрегируют с трактором тягового класса 1,4. Загрузку минеральных материалов производят при помощи вспомогательного оборудования, например, элеватора или гидроманипулятора, оснащенного грейфером.

Машина имеет расширенные технологические возможности. Ее можно также использовать для распределения противогололедных материалов (как жидких реагентов, так и песчано-соляных смесей) в зимний период. Для этого вместо сопла устанавливают разбрасывающий диск, на который из бункера шнековым транспортером подают песчано-соляную смесь, а в случае использования жидких реагентов их заправляют в баки машины и подают на обрабатываемую полосу с помощью насосов.

Расчет машин для ямочного ремонта. При проектировании машин определяют их основные характеристики, производят тяговый расчет, оценивают баланс мощности и др. К основным параметрам относят мощность силовой установки, вместимость бункеров для щебня и битумной эмульсии, бака для воды, вместимость и тепловые характеристики бункера-термоса для АБ смеси или вяжущего, производительность, рабочие и транспортные скорости и др. Рассчитывают систему управления рабочими органами и механизмами, включая подбор гидро- и пневмооборудования, а также их расчет.

Эксплуатационная производительность машин для текущего ремонта, м/ч,

$$P_{\text{рем}} = 3,6 \cdot 10^3 \frac{\kappa_{\text{в}} L_{\text{ру}}}{t_{\text{рем}} + t_{\text{всп}} + (t_{\text{тр}} + t_{\text{зап}}) m_{\text{зап}}}, \quad (9.1)$$

где $\kappa_{\text{в}}$ – коэффициент использования по времени, $\kappa_{\text{в}} = 0,85$;

$L_{\text{ру}}$ – длина ремонтируемого участка, м;

$t_{\text{рем}}$ – общее время, затрачиваемое на ремонт, т. е. на заливку смеси в подготовленные карты, с;

$t_{\text{всп}}$ – вспомогательное время, затрачиваемое на передвижение машины между картами в пределах ремонтируемого участка, с;

$t_{\text{тр}}$ – транспортное время, затрачиваемое на один переезд машины для заполнения бункера, с;

$t_{\text{зап}}$ – время, затрачиваемое на заправку бункера смесью, с;

$m_{\text{зап}}$ – число заливок бункера, необходимое для выполнения заданного объема работ.

Общее время на ремонт, с,

$$t_{\text{рем}} = \frac{b_{\text{к}} h_{\text{к}} l_{\text{к}}}{n_{\text{к}} P_{\text{рас}}}, \quad (9.2)$$

где $b_{\text{к}}, h_{\text{к}}, l_{\text{к}}$ – общие ширина, глубина и длина карт в покрытии ремонтируемого участка;

$n_{\text{к}}$ – число карт в покрытии ремонтируемого участка;

$P_{\text{рас}}$ – производительность распределительного устройства термоса-бункера, м³/с.

Вспомогательное время, с,

$$t_{\text{всп}} = \frac{L_{\text{ру}} n_{\text{к}} t_{\text{ман}}}{l_{\text{к}}}, \quad (9.3)$$

где $t_{\text{ман}}$ – время маневрирования при переезде машины от одной карты к другой, с.

Время, затрачиваемое на заправку бункера, с,

$$t_{\text{зап}} = \frac{L_{\text{тр}}}{v_{\text{пор}}} + \frac{L_{\text{тр}}}{v_{\text{гр}}}, \quad (9.4)$$

где $L_{\text{тр}}$ – расстояние от места заполнения бункера до места работы, м;

$v_{\text{пор}}$ – скорость порожней машины, м/с;

$v_{\text{гр}}$ – скорость груженой машины, м/с.

Число заливок бункера смесью, необходимое для выполнения работ,

$$m_{\text{зап}} = \frac{\kappa_{\text{зап}} b_{\text{к}} h_{\text{к}} l_{\text{к}}}{\kappa_{\text{нап}} V_{\text{бун}}}, \quad (9.5)$$

где $\kappa_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса, учитывающий перерасход или потери смеси;

$\kappa_{\text{зап}} = 1,15$;

$\kappa_{\text{нап}}$ – коэффициент наполнения, $\kappa_{\text{нап}} = 0,8$;

$V_{\text{бун}}$ – вместимость бункера, м³.

Средства малой механизации. Специфика ямочного ремонта (небольшие объемы и большое количество объектов) обуславливает технологическую и экономическую необходимость использования средств малой механизации. В их числе навесные фрезы, нарезчики и заливщики швов, виброплиты и вибротрамбовки, а также другое малогабаритное оборудование.

Навесные фрезы являются наиболее эффективным и экономичным оборудованием для формирования карты ямочного ремонта. Их разделяют по следующим основным признакам:

1) *по назначению* – для разделки трещин – узкие и для выработки карты – барабанные;

2) *по способу передвижения* – ручные и механизированные;

3) *по приводу фрезы* – с механическим и гидравлическим приводом;

4) *по возможности смещения фрезы* – без смещения и перемещения в поперечном направлении;

5) *по типу опорного устройства* – с опорными роликами и скользящими траверсами.

В таблице 9.4 приведены технические характеристики навесных фрез малого типоразмера, в том числе отечественного производства на шасси тракторов «Беларус». Их используют в основном для ямочного ремонта АБ покрытий и других небольших по объему дорожных работ. Как видно из таблицы 9.4, у большинства машин рабочий орган занимает фиксированное положение, но у ряда моделей фреза имеет возможность поперечного перемещения.

Таблица 9.4 – Технические характеристики навесных дорожных фрез

Модель	Ширина резания, мм	Глубина резания, мм	Масса, т	v , м/мин км/ч	D , мм	Базовый трактор	Особенности конструкции
АМКОДОР 8072	70 (одной фрезой)	250	5,90	7,3/18,0	1200	Беларус-82.1/82.2	Две фрезы 350, 500, 800 мм – между фрезами
АМКОДОР 8072-40			6,15				
АМКОДОР 8047 А			5,03				
АМКОДОР 8047 А-01			5,05				
АМКОДОР 8047 А-02	400	65	5,14	1,3/18,0	550	Беларус-82.1/92П	Привод фрезы от заднего ВОМ трактора
АМКОДОР 8048 М	600	100	5,80	0,9/18,0		Беларус-92П	Привод фрезы от гидросистемы трактора. Поперечное перемещение фрезы от центра – на 0,9 м
АМКОДОР 8048 М-01	600	100	7,05	0,9/18,0			
АМКОДОР 8048 М-02	600	100	6,30	0,9/18,0			
ЕМ-600	600	70	5,90	0,75/18,0	550	Беларус-80/82	Привод фрезы от гидросистемы трактора
БЛ-400	400	65	5,80	1,3/18,0	550	Беларус-82.1/82.2	Привод фрезы от заднего ВОМ трактора
НО-83	400	70	0,95	0,75		Беларус-82	
БЗГТ-400	400	100	0,92	7,3	560	Беларус-82.1/80.1	
ДЭМ-121	400	150	5,60	7,3		Беларус-82П/80.1	
ФД-500	500	100	5,30	14,0	525	Беларус-80/82	

Примечание – v – скорость передвижения трактора; D – диаметр фрезы.

На рисунках 9.6 и 9.7 приведены конструктивная и кинематическая схемы фрезерного оборудования с механическим приводом, которое устанавливают на шасси трактора МТЗ («Беларус»). Фрезерный барабан 9 с резцами 10 прикрепляют при помощи опорного кронштейна 1 к заднему мосту трактора (см. рисунок 9.6). Привод рабочего оборудования осуществляют от вала отбора мощности трактора через конический и цилиндрический редукторы.

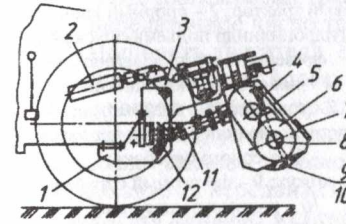


Рисунок 9.6 – Конструктивная схема фрезерного оборудования:
1 – опорный кронштейн; 2 – гидроцилиндр;
3 – поворотный кронштейн;
4 – винтовая передача; 5 – траверса;
6 – опорное колесо; 7 – кожух; 8 – шпиндель;
9 – барабан; 10 – резец; 11 – карданный вал;
12 – фланец приводного механизма

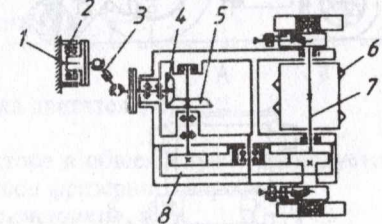


Рисунок 9.7 – Кинематическая схема привода фрезерного барабана:
1 – вал отбора мощности; 2 – приводной механизм; 3 – карданный вал;
4, 5 – коническая передача; 6 – резец;
7 – шпиндель; 8 – бортовой редуктор

Перевод оборудования из транспортного (см. рисунок 9.6) в рабочее положение осуществляют с помощью гидроцилиндров 2 и поворотного кронштейна 3. Его привод включает фланец 12, установленный на вал отбора мощности трактора, и карданный вал 11. На траверсах 5 устанавливают два опорных колеса 6, которые имеют возможность перемещаться посредством винтовой передачи 4 в вертикальной плоскости относительно барабана.

Крутящий момент (см. рисунок 9.7) от вала отбора мощности 1 трактора передается на фрезерный барабан с резцами 6.

Эффективность эксплуатации фрезы расширяет возможность ее перемещения в поперечном направлении.

На рисунке 9.8 фрезерный барабан 9 перемещают в поперечном направлении по направляющим 10 с помощью гидроцилиндра 7. В рабочем положении машина опирается на траверсы 5, что обеспечивает точность выработки карты. Управление положением фрезы (подъем-опускание) производят с помощью гидроцилиндра 3. Привод вращения фрезы гидравлический от гидромотора 6. Машину оснащают системой водяного охлаждения фрезы 11 с принудительной подачей воды.

Расчет навесных фрез. При оценке основных параметров фрезы проводят тяговый и мощностной расчеты, рассчитывают гидравлическую систему трактора с учетом наличия фрезы и подбирают гидрооборудование для управления рабочими органами.

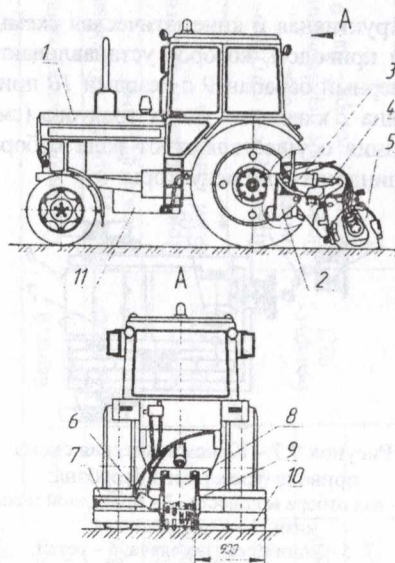


Рисунок 9.8 – Конструктивная схема навесной фрезы с поперечным перемещением барабана:
1 – базовый трактор; 2 – опорный кронштейн;
3 – гидроцилиндр подъема-опускания фрезерного оборудования;
4 – поворотный кронштейн;
5 – траверса; 6 – гидромотор;
7 – гидроцилиндр поперечного перемещения фрезерного барабана;
8 – кожух; 9 – фрезерный барабан;
10 – направляющая рама;
11 – система орошения

Тяговый расчет проводят на основе анализа уравнения тягового баланса. Общая сила сопротивления W включает следующие сопротивления:

- фрезерованию холодного асфальтобетона $W_{\text{ф}}$;
- перемещению трактора $W_{\text{пер}}$.

Сопротивление фрезерованию холодного асфальтобетона, Н,

$$W_{\text{ф}} = 10^{-6} k_p b_{\text{ф}} h_{\text{ф}}, \quad (9.6)$$

где k_p – удельное сопротивление фрезерованию холодного асфальтобетона,

$$k_p = 4 \dots 10 \text{ МПа};$$

$b_{\text{ф}}$ – ширина барабана фрезы, м;

$h_{\text{ф}}$ – глубина фрезерования, м.

Сопротивление перемещению трактора, Н,

$$W_{\text{пер}} = (f_1 + i)G, \quad (9.7)$$

где f_1 – коэффициент сопротивления перемещению трактора, $f_1 = 0,06 \dots 0,12$;

i – уклон пути, $i = 0,03 \dots 0,07$;

G – сила тяжести трактора, Н.

Для преодоления сил сопротивления, возникающих при работе машины, должно выполняться условие

$$T \geq W, \quad (9.8)$$

где T – сила тяги трактора, Н;

$$W = W_{\text{ф}} + W_{\text{пер}}.$$

Сила тяги, Н,

$$T = \frac{\eta_{\text{тр}} u_{\text{тр}} N_{\text{дв}}}{n_{\text{кол}} \omega_{\text{д}} r_{\text{кол}}}, \quad (9.9)$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии трактора;

$u_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии;

$N_{\text{дв}}$ – мощность двигателя, Вт;

$n_{\text{кол}}$ – число ведущих колес; $n_{\text{кол}} = 2$;

$\omega_{\text{д}}$ – угловая скорость вращения вала двигателя, с^{-1} ;

$r_{\text{кол}}$ – радиус ведущего колеса, м.

Мощность силовой установки трактора в общем случае расходуется на привод механизма передвижения и привод фрезерного барабана.

Мощность привода механизма перемещения, кВт,

$$N_{\text{пер}} = 10^{-3} \frac{W v_p}{\eta_{\text{т}}}, \quad (9.10)$$

где v_p – скорость рабочего хода, м/с;

$\eta_{\text{т}}$ – КПД трансмиссии трактора.

Мощность привода фрезы, кВт,

$$N_{\text{фр}} = 10^{-3} \frac{W_{\text{фр}} \omega_{\text{фр}} R_{\text{фр}}}{\eta_{\text{пф}}}, \quad (9.11)$$

где $\omega_{\text{фр}}$ – угловая скорость вращения фрезерного барабана, с^{-1} ;

$R_{\text{фр}}$ – радиус фрезы по режущим зубьям, м;

$\eta_{\text{пф}}$ – КПД привода фрезы.

Нарезчики швов. При ямочном ремонте для вырубки кромок ремонтируемых ям и разделки трещин применяют также нарезчики швов. Их целесообразно классифицировать по следующим основным признакам:

1) по мощности двигателя, кВт, – легкие (до 15), средние (до 30) и тяжелые (до 50);

2) по способу перемещения – ручные и самоходные;

3) по типу привода рабочего органа – с механическим, гидравлическим и электрическим приводом;

4) по виду рабочего органа – с режущим диском и с тонкой фрезой.

Главным элементом нарезчика швов является рабочий орган – режущий диск (или фреза), который приводит во вращение силовая установка – двигатель внутреннего сгорания, электрический двигатель с питанием от сети (или от стационарного источника) или комбинированная силовая установка (ДВС – электропривод или ДВС – гидропривод).

Для ямочного ремонта используют в основном ручные нарезчики с механическим приводом. Самоходные машины применяют для крупномасштабных дорожных работ, в том числе для нарезки пазов деформационных швов в ЦБ покрытия.

Наиболее простую конструкцию имеют ручные нарезчики швов с механическим приводом. Такой нарезчик (рисунок 9.9) представляет собой тележку, на раме 1 которой установлен двигатель внутреннего сгорания 6, приводящий через трансмиссию (сцепление и клиноременную передачу 5) режущий диск 3, положение которого регулируют ручным подъемным механизмом 8. Диск закрывают защитным кожухом 4 с трубкой, по которой подают воду из бака 7 для охлаждения диска.

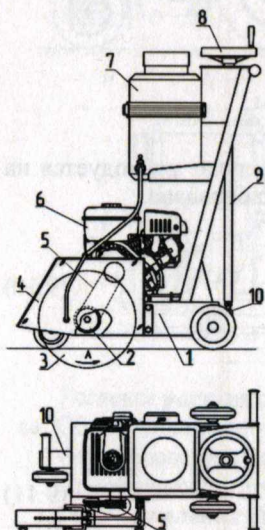


Рисунок 9.9 – Конструктивная схема нарезчика асфальта:

- 1 – рама; 2 – шпиндель;
3 – режущий диск; 4 – защитный кожух; 5 – клиноременная передача;
6 – двигатель; 7 – бак для воды;
8 – механизм подъема диска;
9 – тяга; 10 – направляющая штанга

В качестве рабочего органа в нарезчиках используют два вида режущего инструмента: во-первых, алмазно-сегментные отрезные диски (т. е. диски с алмазным покрытием), которые объединяют в пакет для обеспечения необходимой ширины разделки трещин; во-вторых, фрезы с требуемой шириной режущей кромки зубьев из твердосплавных материалов или с алмазным покрытием.

В Беларуси самоходные нарезчики швов выпускает «Белдортехника». Их также производят как навесные адаптеры на универсальные энергомодули. Ведущие производители дорожной техники выпускают несколько типоразмеров нарезчиков швов, отличающихся мощностью двигателя, диаметром режущего диска и глубиной резания. В их числе фирмы «Cedima», «Stow» и «Breining» (Германия), «Дынарас» и «Partner» (Швеция) и др. В таблице 9.5 представлены технические характеристики нарезчиков швов некоторых производителей. Как видно из таблицы 9.5, для этих машин главным параметром является глубина резания, от которой зависят мощность силовой установки, габариты машины и ее производительность.

Скорость рабочего процесса нарезчиков швов зависит от глубины и ширины резания, от разрабатываемого материала и составляет 30–200 м/ч. При необходимости очистки сильно загрязненных трещин применяют дисковые щетки, которые устанавливают вместо режущих дисков.

Самоходные нарезчики швов имеют гидравлический привод механизма передвижения, что позволяет им двигаться в рабочем режиме со скоростью до 480 м/ч. Большая масса обеспечивает им низкий уровень вибрации при работе с твердосплавным инструментом.

Таблица 9.5 – Технические характеристики нарезчиков швов

Модель	Диаметр режущего диска, мм	Глубина резания, мм	Двигатель	Мощность, кВт	Производительность, см ² /мин	Масса, кг
Splitstone CS-144E	350	110	Э	4,0	250	100
БПИШ-450X	450	160	Б	9,6	–	125
Splitstone CS-1813	450	165	Б	9,6	500	138
Cedima CF-13 D	450	170	Д	4,6	–	106
Wacker BFS AL1350	500	185	Б	9,6	–	136
Wacker DFS 2075HLS (самоходный)	750	280	Д	14,6	–	357
Splitstone CSP-3220 (самоходный)	800	320	Б	15	560	240

Примечание – Э – электрический, Б – бензиновый, Д – дизельный.

Расчет нарезчиков швов включает определение основных параметров, баланс мощности и др.

Мощность, затрачиваемая на резание шва, кВт,

$$N_{\text{рез}} = 6 \cdot 10^{-5} q_{\text{уд}} b_{\text{ш}} h_{\text{ш}} v_{\text{п}}, \quad (9.12)$$

где $q_{\text{уд}}$ – удельная энергоемкость резания, кВт·ч/м³,

$$q_{\text{уд}} = \begin{cases} 150 & \text{– для асфальтобетона,} \\ 600 & \text{– для цементобетона;} \end{cases}$$

$b_{\text{ш}}$ – ширина шва, м;

$h_{\text{ш}}$ – глубина шва, м;

$v_{\text{п}}$ – скорость подачи, м/мин.

Проверить правильность расчетов мощности резания можно по формуле

$$N_{\text{рез}} = e^{-7,266} \sigma_{\text{сж}}^{0,85} n_{\text{ш}}^{1,409} v_{\text{п}}^{0,825}, \quad (9.13)$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ – прочность материала, МПа,

$$\sigma_{\text{сж}} = \begin{cases} 15...20 & \text{– для асфальтобетона,} \\ 9...10 & \text{– для неотвержденного цементобетона,} \\ 36...40 & \text{– для отвержденного цементобетона.} \end{cases}$$

Количество охлаждающей жидкости, л,

$$Q_{\text{в}} = \frac{D}{20...25}, \quad (9.14)$$

где $Q_{\text{в}}$ – расход воды на охлаждение диска, л/мин;

D – диаметр диска, мм.

Оборудование для ремонта трещин. После фрезерования и очистки дисковой щеткой с металлическим ворсом, устанавливаемой вместо режущего диска на нарезчик швов, следует подготовка трещины к последующей заливке герметиком, которая включает просушку и прогрев шва.

Для этих подготовительных операций используют как специализированное оборудование, так и сварочное газопламенное, приспособленное к ремонтным работам. К специализированному оборудованию относятся *газогенераторные установки*, которые оснащают компрессором, горелкой и баллонами с природным или другим горючим газом. Через управляемую форсунку они подают со скоростью 400–600 м/с горячий (200–300 °С) воздух в полость трещины. Результатом является не только очистка и сушка полости самой трещины, но и вынос разрушенных частиц покрытия из зоны трещины.

При использовании газопламенных установок просушку и прогрев трещин производят горелками с открытым пламенем, что приводит к выгоранию вяжущего и ускоренному разрушению асфальтобетона в зоне трещины.

Заливщики швов производят завершающую операцию по ремонту трещин – герметизацию. Их целесообразно классифицировать по следующим основным признакам:

- 1) *по типу привода* – самоходные, прицепные и ручные;
- 2) *по виду обогрева емкости с герметиком* – масляным теплоносителем, горючим газом и горелкой, работающей на дизельном топливе;
- 3) *по конструкции смесителя* – с горизонтальным и вертикальным валом.

Заливщик представляет собой обогреваемый бак, установленный на раме, имеющей колесный ход. Бак может быть оснащен смесителем, а также оборудованием (насосом, коммуникациями, форсункой) для транспортирования герме-

тика к трещине. Герметик загружают в бак, нагревают до рабочей температуры и с помощью насоса подают через управляемую форсунку в подготовленную трещину. Гидравлический привод смесителя и насоса подачи герметика от автономной силовой установки (двигателя внутреннего сгорания) через гидронасос и гидромотор обеспечивает эффективное регулирование подачи герметика.

На рисунке 9.10 показана конструктивная схема самоходного заливщика швов, который размещен на шасси грузового автомобиля. Он оснащен пневмосистемой с компрессором 1; баком 2 для разогрева герметика с форсункой 4 газовой горелки и коммуникациями; системой подачи герметика, включающей поворотную стойку 5 с трубчатой балкой, снабженной трубопроводом 3; приводом подачи воздуха и герметика в полость шва. Краны, насос и трубопроводы также обогреваются горячим газом. Компрессор обеспечивает продувку и очистку шва сжатым воздухом, а также его подачу в топливную форсунку. Компрессор приводят от двигателя транспортного средства через редуктор отбора мощности. Разогретый герметик при помощи насоса через трубопровод и сопло поступает в полость шва. С помощью поворотной стойки и балки сопло трубопровода перемещают вдоль шва для его заполнения.

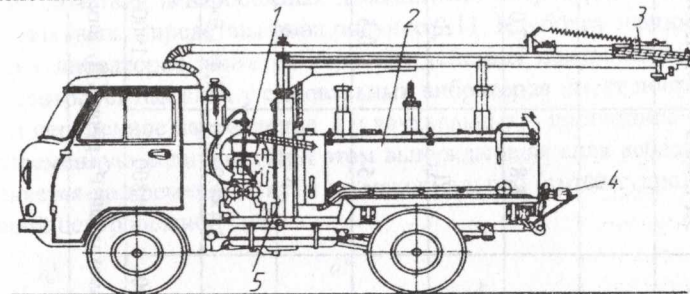


Рисунок 9.10 – Самоходный заливщик швов:

1 – компрессор; 2 – бак для разогрева герметика; 3 – трубопровод; 4 – форсунка;
5 – поворотная стойка

После заливки трещину покрывают слоем песка или щебня мелких фракций (5–10 мм) для создания защитного шероховатого слоя износа, а также для предотвращения выпотевания битума. Для выполнения поверхностной обработки трещин имеются ручные щебнераспределители на пневмоколесах, основным узлом которых является бункер конической формы с заслонкой для регулирования толщины слоя распределяемого материала. Управление заслонкой и перемещение бункера осуществляют вручную.

В таблице 9.6 приведены характеристики некоторых заливщиков швов.

Таблица 9.6 – Технические характеристики заливщиков швов

Модель	ЗШ-4	БЗ	ЭД-135М-3	ЭД-135М-2	ЭД-135М-4	ЗШ-ЗК	Cedima RVK 450 i	Cedima RVK 600
Тип	П	П	П	С	С	Р	П	П
Мощность двигателя, кВт	8,0	–	8,8	17,0	30,0	–	10,0	10,0
Тип горелки	Д	Д	Д	Д	Д	Г	Д	Д
Объем бака для герметика, л	0,43	–	0,5	0,5	0,5	0,03	0,45	0,6
Расход топлива горелкой, л/ч	7	–	8	8	8,5	1,4	–	–
Габаритные размеры, м	4,3×2,1×2,0	–	3,4×1,9×2,0	3,4×1,9×2,0	4,2×2,2×2,0	–	4,9×1,9×2,5	4,9×1,9×2,5
Эксплуатационная масса, кг	2180	1900	1800	1900	1900	95	2500	2500

Примечание – П – прицепной, С – самоходный, Р – ручной, Д – дизельный, Г – газовый.

Виброплиты для уплотнения дорожных материалов являются самопередвигающимся оборудованием. В качестве возбудителя колебаний их оснащают центробежными вибраторами – дебалансными валами. При вращении такого вала развивается центробежная сила инерции. Ее проекция на вертикальную ось является той вынуждающей (возмущающей) силой, под действием которой происходят колебания вибратора и самой плиты. Виброплиты классифицируют по следующим основным признакам:

1) по *типоразмеру* – легкие (массой 50–70), средние (70–110) и тяжелые (более 110 кг);

2) по *типу привода вибратора* – механические, гидравлические, электрические и пневматические;

3) по *характеру колебаний вибратора* – с ненаправленными (круговыми) и направленными колебаниями;

4) по *количеству валов вибратора* – одно- и двухвальные;

5) по *способу рабочего перемещения* – одноходные (с ходом только вперед) и реверсивные (с ходом вперед – назад);

6) по *степени автономности* – самостоятельное оборудование или дополнительное оборудование к рециклерам.

Принцип действия центробежных дебалансных вибраторов – одновальных и двухвальных – представлен на рисунке 9.11. Наиболее значимым отличием этих вибраторов является характер действия центробежной силы инерции. Центробежная сила у одновальных вибраторов имеет постоянную величину и переменное направление, а у двухвальных – постоянное направление и переменную величину. При этом вынуждающая сила дебалансного вала изменяется во времени от нуля до максимальной (амплитудной) величины, равной центробежной силе.

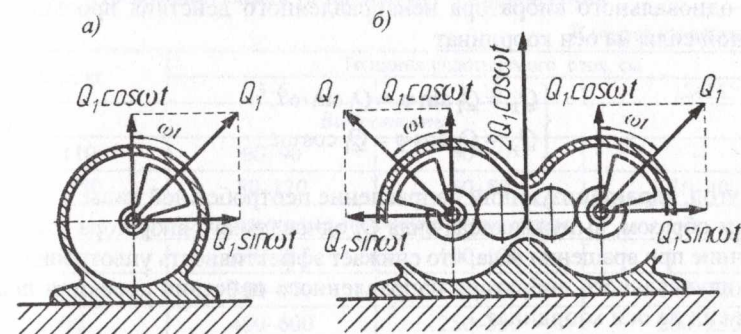


Рисунок 9.11 – Принцип действия одно- и двухвальных вибраторов:
а – с ненаправленными (круговыми) колебаниями; б – с направленными колебаниями

У *одновального вибратора* (рисунок 9.11, а) центробежная сила Q_1 при вращении вала остается постоянной, но непрерывно меняет направление, создавая круговые ненаправленные колебания. Его вынуждающая сила в каждый момент времени равна проекции на вертикальную ось центробежной силы. Соответственно, одновальный вибратор передает ненаправленные колебания виброплите, которая, в свою очередь, передает колебания уплотняемому материалу.

У *двухвального вибратора* (рисунок 9.11, б) оба вала соединены между собой (например, зубчатыми колесами) и вращаются в противоположные стороны с одинаковой угловой скоростью. За счет этого вертикальные составляющие центробежных сил всегда направлены в одну сторону, что обеспечивает вертикальные направленные колебания, которые передаются плите и обеспечивают более эффективное уплотнение материала. При этом горизонтальные составляющие этих сил ($Q_1 \sin \varphi$) взаимно уравниваются.

При вращении дебалансного вала центробежную силу определяют по формуле

$$Q_1 = m_d r \omega^2 = \frac{G_d}{g} r \omega^2, \quad (9.15)$$

где m_d , G_d – масса и сила тяжести дебаланса;

r – эксцентриситет, т. е. радиус вращения центра тяжести дебаланса, м;

ω – угловая скорость вращения дебалансного вала, с^{-1} , $\omega = \pi n_d / 30$;

n_d – частота вращения дебаланса вибратора, мин^{-1} .

Вынуждающая сила дебалансного вала соответствует вертикальной проекции центробежной силы, т. е. это сила Q_y . Для одно- и двухвальных вибраторов она имеет различные значения.

Для одновального вибратора ненаправленного действия проекции центробежной силы на оси координат

$$\begin{cases} Q_x = Q_1 \sin \varphi = Q_1 \sin \omega t, \\ Q_y = Q_1 \cos \varphi = Q_1 \cos \omega t, \end{cases} \quad (9.16)$$

где φ – угол, характеризующий направление центробежной силы.

Таким образом, вынуждающая сила Q_y одновального вибратора изменяется по величине при вращении вала, что снижает эффективность уплотнения.

Для двухвального вибратора направленного действия проекции центробежных сил на оси координат

$$\begin{cases} Q_x = 0, \\ Q_y = 2Q_1 \cos \omega t. \end{cases} \quad (9.17)$$

Сопоставляя формулы (9.16) и (9.17), нетрудно убедиться в том, что суммарная вынуждающая сила двухвального вибратора значительно больше этого параметра одновального вибратора.

Двухвальный вибратор устанавливают на реверсивных виброплитах. Если ось центров валов расположена горизонтально, плита будет работать на месте, совершая вертикально направленные колебания под действием вынуждающей силы Q_y . Если же ось центров будет установлена под углом к вертикали, плита будет передвигаться в направлении отклонения оси центров.

В таблице 9.7 показано влияние типоразмера одноходных и реверсивных виброплит на толщину уплотняемых ими слоев АБ смесей.

Таблица 9.7 – Рекомендуемые параметры виброплит для уплотнения асфальтобетонных смесей

Тип	Масса, кг, виброплиты для обеспечения глубины уплотнения		
	3–6 см	8–10 см	12–14 см
Одноходная	70–100	100–120	120–180
Реверсивная	120	120–200	120–200

В таблице 9.8 сопоставлены эксплуатационные характеристики виброплит и виброкатков в зависимости от их главного параметра – массы. Как видно из таблицы 9.8, по производительности плиты существенно уступают каткам. Поэтому их используют при небольших объемах дорожных работ, т. е. там, где не требуется высокая производительность: во-первых, при ямочном ремонте; во-вторых, при заделке траншей, пересекающих покрытие; в-третьих, при уплотнении щебня и гранулята, которые применяют для укрепления обочин; в-четвертых, при уплотнении нижних и верхних слоев дорожной одежды при уширении проезжей части в местах небольшой протяженности (на развязках, автобусных остановках и др.).

Таблица 9.8 – Производительность виброплит и виброкатков

Масса, кг	В метрах квадратных в час		
	Толщина уплотняемого слоя, см		
	3–6	8–10	12–14
<i>Виброплиты</i>			
70–110	60–90	40–60	–
110–180	80–120	60–80	30–40
<i>Асфальтовые виброкатки (танделы)</i>			
600	200–250	100–120	–
1200	300–400	150–200	100–120
3000	400–600	250–350	200–250

Виброплита (рисунок 9.12) представляет собой рабочую плиту-поддон 1 с вибратором 2, которая снабжена подмоторной рамой 4, двигателем 5,

трансмиссией 3, системой подвески 7 и механизмом управления 6. На этом рисунке 9.12 приведены принципиальные схемы одноходной плиты с вибратором ненаправленного действия (а) и реверсивной плиты с вибратором направленного действия (б).

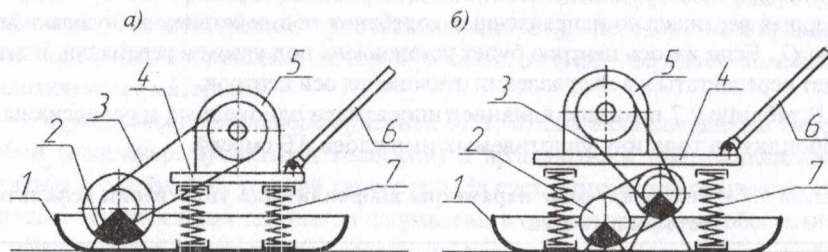


Рисунок 9.12 – Схемы виброплит с одновальным вибратором ненаправленного действия (а) и двухвальным вибратором направленного действия (б):
1 – рабочая плита; 2 – вибратор; 3 – клиноременная передача привода вибратора; 4 – подмоторная рама; 5 – двигатель; 6 – рукоятка управления; 7 – подвеска

Рабочее перемещение (самопередвижение) одноходной и реверсивной виброплит происходит следующим образом. Виброплита с одновальным вибратором может перемещаться только вперед за счет установки вибратора со смещением относительно центра инерции плиты (см. рисунок 9.12, а). Виброплита с двухвальным вибратором может работать на месте, а также перемещаться вперед или назад в зависимости от положения оси центров дебалансных валов (в положении, показанном на рисунке 9.12, б, плита перемещается влево). Положение оси центров изменяют при помощи регулировочной тяги (на рисунке 9.12 не указана). Разворот и управление передвижением плиты производят при помощи рукоятки б.

Механический привод вибратора состоит из двигателя внутреннего сгорания с воздушным охлаждением и трансмиссии (муфты сцепления и клиноременной передачи).

Гидравлический привод, который имеют тяжелые виброплиты, включает двигатель внутреннего сгорания, гидронасос, гидродвигатель, гидрораспределитель, бак для рабочей жидкости и коммуникации.

Пневматический привод содержит пневмодвигатель, пневмораспределитель и коммуникации, по которым сжатый воздух подают от компрессорной установки.

На рисунке 9.13 приведены конструктивная и кинематическая схемы самопередвигающейся виброплиты с механическим приводом одновального вибратора. Она содержит плиту 1, вибратор 3, подмоторную раму 5, кабестан 2 со шкивом 15, двигатель 6 и муфту 32.

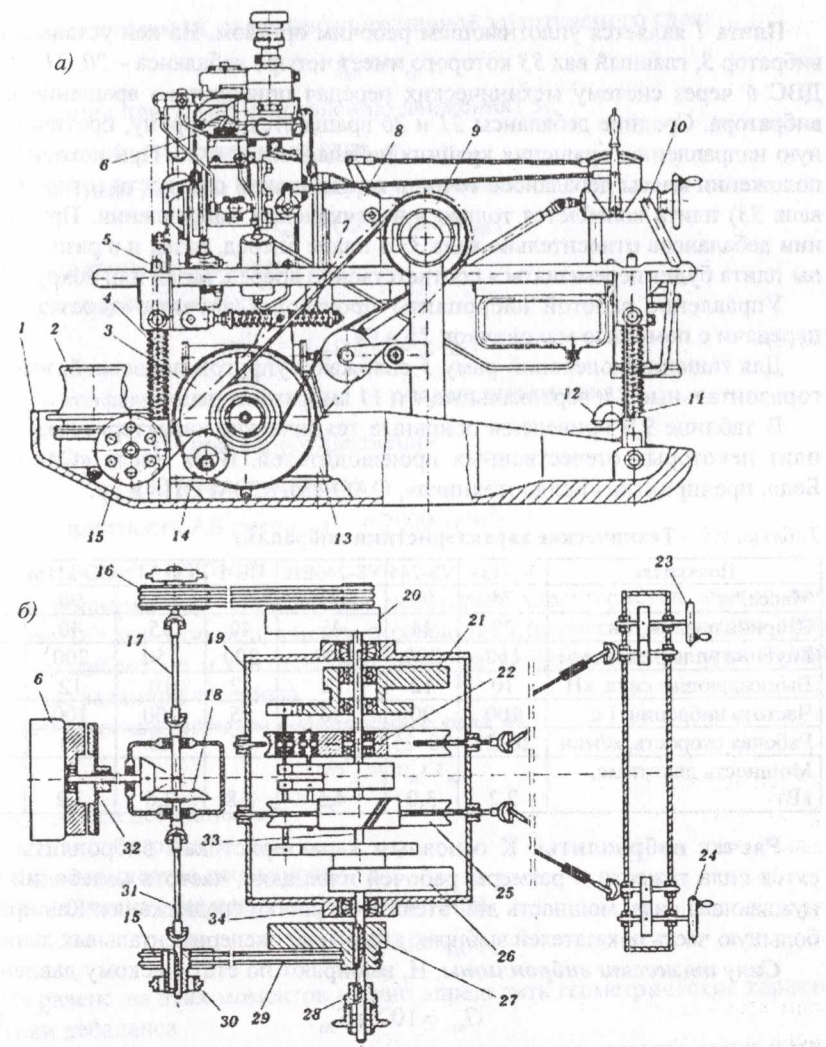


Рисунок 9.13 – Конструктивная (а) и кинематическая (б) схемы самопередвигающейся плиты:
1 – плита; 2 – кабестан; 3, 10 – вибраторы (вибровозбудители); 4, 11 – вертикальные амортизаторы подвески подмоторной рамы; 5 – подмоторная рама; 6 – двигатель; 7 – горизонтальный вибратор; 8 – коробка передач; 9 – редуктор; 12 – сцепная петля; 13 – опора вибратора; 14 – натяжная звездочка; 15 – шкив; 16, 29 – ремни клиноременных передач; 17, 31 – карданные валы; 18 – редуктор; 19 – корпус вибратора; 20, 27 – крайние дебалансы; 21, 26 – средние дебалансы; 22, 25 – сателлиты; 23, 24 – маховички; 28, 32 – муфты; 30 – звездочка цепной передачи; 33 – главный вал вибратора; 34 – подшипник

Плита 1 является уплотняющим рабочим органом. На ней устанавливают вибратор 3, главный вал 33 которого имеет четыре дебаланса – 20, 21, 26 и 27. ДВС 6 через систему механических передач приводит во вращение вал 33 вибратора. Средние дебалансы 21 и 26 вращаются в сторону, противоположную направлению вращения крайних дебалансов 20 и 27. При исходном расположении массы дебалансов точно в вертикальной плоскости (относительно вала 33) плита колеблется только в вертикальном направлении. При смещении дебалансов относительно вала 33 в плане вперед, назад и в разные стороны плита будет перемещаться соответственно вперед, назад или вокруг оси.

Управление работой виброплиты производят вручную через зубчатые передачи с помощью маховичков 23 и 24.

Для гашения колебаний раму 5 снабжают упругой подвеской, имеющей горизонтальные 7 и вертикальные 4 и 11 амортизаторы.

В таблице 9.9 приведены основные технические характеристики виброплит некоторых отечественных производителей. В их числе «Сплитстоун Бел», предприятие «Белдортехника», ОАО «МИСКОМ ОП» и др.

Таблица 9.9 – Технические характеристики виброплит

Показатель	VS-134	VS-244	VS-246E10	ПВ-1	CO-341	CO-311M	CO-310M
Масса, кг	74	90	110	94	75	90	125
Ширина полосы, см	29	44	45	40	35	40	450
Глубина уплотнения, мм	150	200	200	200	150	200	250
Вынуждающая сила, кН	10	12	12	12	10	12	18
Частота вибрации, Гц	100	90	90	95	100	100	80
Рабочая скорость, м/мин	20–25	20–25	20	15	20	20	20
Мощность двигателя, кВт	2,2	3,0	4,5	2,8	2,6	3,2	4,2

Расчет виброплиты. К основным характеристикам виброплиты относятся сила тяжести и размеры рабочей площадки, частота колебаний и вынуждающая сила, мощность двигателя и скорость передвижения. Как правило, большую часть показателей выбирают на основе экспериментальных данных.

Силу тяжести виброплиты, Н, выбирают по статическому давлению:

$$G_{\text{вп}} = 10^{-3} p S_{\text{вп}}, \quad (9.18)$$

где p – статическое давление, кН/м²,

$$p = \begin{cases} 2...3 & \text{– для плит массой 50–100 кг,} \\ 5...15 & \text{– для плит массой 100–800 кг;} \end{cases}$$

$G_{\text{вп}}$ – сила тяжести виброплиты, кН;

$S_{\text{вп}}$ – опорная площадь плиты, м².

Размеры плиты, м, связывают с толщиной уплотняемого слоя:

$$l_{\text{вп}} \geq h_{\text{сл}},$$

где $l_{\text{вп}}$ – длина плиты (по направлению движения), м;

$h_{\text{сл}}$ – толщина уплотняемого слоя, м.

По опытным данным рекомендуют принимать

$$l_{\text{вп}} = (1,00...1,15) B_{\text{вп}},$$

где $B_{\text{вп}}$ – ширина виброплиты, м.

Масса виброплиты, кг,

$$m_{\text{вп}} = k_{\text{пр}} \rho_{\text{см}} l_{\text{вп}} B_{\text{вп}} h_{\text{сл}}, \quad (9.19)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент, зависящий от режима уплотнения,

$$k_{\text{пр}} = \begin{cases} 10 & \text{– при виброуплотнении,} \\ 20 & \text{– при трамбовке;} \end{cases}$$

$\rho_{\text{см}}$ – плотность АБ смеси, $\rho_{\text{см}} = 2000$ кг/м³;

$B_{\text{вп}}$ – ширина плиты, м.

Для проверки или определения некоторых характеристик можно воспользоваться известным правилом о равенстве статического момента дебалансного вибратора и статического момента виброплиты при уплотнении материала заданной толщины.

Статический момент дебалансного вала, Н·м,

$$M_{\text{д}} = m_{\text{д}} r z_{\text{д}},$$

где $m_{\text{д}}$ – масса дебаланса, кг;

r – эксцентриситет, м;

$z_{\text{д}}$ – количество дебалансов.

Статический момент виброплиты, Н·м,

$$M_{\text{вп}} = 0,022 m_{\text{вп}} h_{\text{сл}}.$$

Из равенства этих моментов можно определить геометрические характеристики дебаланса.

Наибольший эффект уплотнения достигается в тех случаях, когда частота вынуждающих колебаний плиты соответствует частоте собственных колебаний уплотняемого материала.

Скорость перемещения виброплиты, м/мин,

$$v_{\text{вп}} = \frac{\pi n_{\text{д}} \text{tg} \varphi}{\sqrt{\pi^2 n_{\text{д}}^2 + 1}}, \quad (9.20)$$

где $n_{\text{д}}$ – частота вращения дебаланса, мин⁻¹.

Для каждого материала экспериментальным путем подбирают оптимальную частоту дебаланса и скорость перемещения плиты. Максимальной скорости самопередвижения плиты соответствует угол $\varphi = 45 \dots 50^\circ$.

Частота вращения дебаланса, мин^{-1} ,

$$n_d = \frac{856}{\sqrt{h_{\text{сл}}}} \quad (9.21)$$

Мощность двигателя плиты затрачивается на ее передвижение, на привод дебалансного вала и на преодоление сил трения в его опорах (подшипниках):

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{пер}} + N_{\text{пр}} + N_{\text{пк}}.$$

Мощность, затрачиваемая на передвижение, Вт,

$$N_{\text{пер}} = \frac{\sum W v_{\text{вп}}}{60 \eta_{\text{пд}}}, \quad (9.22)$$

где $\eta_{\text{пд}}$ – КПД привода дебалансного вала.

Общая сила сопротивления передвижению $\sum W$ плиты складывается из следующих составляющих:

1) **сопротивления передвижению виброплиты по поверхности смеси, Н,**

$$W_{\text{пер}} = \mu_1 G_{\text{вп}}, \quad (9.23)$$

где μ_1 – коэффициент трения стали по АБ смеси (таблица 9.10);

Таблица 9.10 – Коэффициенты трения стали по асфальтобетонной смеси в зависимости от ее температуры и частоты вибрации

Температура смеси, $^\circ\text{C}$	Частота вибрации, Гц					
	–	17	30	50	57	67
60–66	0,675	0,510	0,015	0,015	0,015	0,015
70–79	0,465	0,510	0,115	0,015	0,115	0,115
90–103	0,500	0,500	0,210	0,065	0,065	0,040
115–120	0,460	0,265	0,090	0,090	0,065	0,040
147–159	0,480	0,340	0,110	0,014	0,037	0,014

2) **сопротивления призмы волочения смеси** перед плитой, Н,

$$W_{\text{пр}} = \mu_2 G_{\text{пр}}, \quad (9.24)$$

где μ_2 – коэффициент сопротивления перемещению смеси по смеси,

$$\mu_2 = \begin{cases} 0,7 \dots 0,8 & \text{– для холодной смеси,} \\ 0,5 \dots 0,6 & \text{– для горячей смеси;} \end{cases}$$

$G_{\text{пр}}$ – сила тяжести смеси в призме волочения, Н;

3) **сопротивления инерционных сил, Н,**

$$W_i = \frac{G_{\text{вп}} v_{\text{вп}}}{g t_{\text{раз}}}, \quad (9.25)$$

где $v_{\text{вп}}$ – скорость перемещения виброплиты, м/с;

$t_{\text{раз}}$ – время разгона до скорости $v_{\text{вп}}$, с.

Мощность на привод дебалансного вала, Вт,

$$N_{\text{пр}} = \frac{1}{2} a_p \omega Q_1, \quad (9.26)$$

где a_p – расчетная вертикальная амплитуда колебаний вала, м;

Q_1 – центробежная сила, Н.

Расчетная амплитуда колебаний дебалансного вала, м,

$$a_p = \frac{a_b}{\frac{\omega}{2n_3} \sin \varphi}, \quad (9.27)$$

где a_b – амплитуда вынужденных колебаний виброплиты, $a_b \geq 3 \cdot 10^{-4}$ м;

n_3 – коэффициент затухания колебаний, $n_3 = 1/125$ Гц.

Мощность на преодоление сил трения в подшипниках вибровала, Вт,

$$N_{\text{пк}} = \frac{1}{2} \mu_{\text{пк}} \omega d_{\text{пк}} Q_1, \quad (9.28)$$

где $\mu_{\text{пк}}$ – коэффициент трения в подшипниках качения, $\mu_{\text{пк}} = 0,005 \dots 0,007$;

$d_{\text{пк}}$ – внутренний диаметр подшипника, м.

Техническая производительность при уплотнении, $\text{м}^3/\text{с}$,

$$\Pi_{\text{тех}} = \frac{B_{\text{вп}} v_{\text{вп}} h_{\text{сл}}}{z}, \quad (9.29)$$

где z – число проходов.

Вибротрамбовки также используют для уплотнения АБ смесей в стесненных условиях, когда производительность не является определяющим фактором ямочного ремонта.

Вибротрамбовка представляет собой ручной механизм, уплотняющий дорожно-строительный материал в режиме трамбования, т. е. с отрывом рабочей поверхности от уплотняемой среды. Ударный механизм трамбовок совершает поступательное движение, которое осуществляют за счет дебалансных и других возбудителей колебаний. В качестве привода используют двигатель внутреннего сгорания, а также комбинированные силовые установки с механическим, электрическим, пневматическим и гидравлическим приводом.

Наибольшее распространение при ремонте получили ручные пневматические трамбовки. В качестве примера на рисунке 9.14 представлена конструктивная схема ручной трамбовки. Двигатель 4 приводит через зубчатую передачу кривошипно-шатунный механизм. Кривошип 3, вращаясь, приводит шатун, связанный с рабочим цилиндром 5, в котором размещен поршень 1. В результате вращения вала привода цилиндр совершает возвратно-поступательные движения, которые передаются поршню 1 и башмаку 6. При перемещении цилиндра вверх над головкой поршня создается разрежение и под действием разности атмосферного и остаточного давлений он также перемещается вверх вместе с башмаком, затем останавливается в верхней точке и устремляется вниз, ударяя башмаком по уплотняемому материалу. Ударный импульс, создаваемый поршнем и передаваемый на башмак трамбовки, обеспечивает уплотнение материала. Эффективность уплотнения зависит от многих факторов, в том числе от длительности импульса и высоты, с которой нанесен удар.

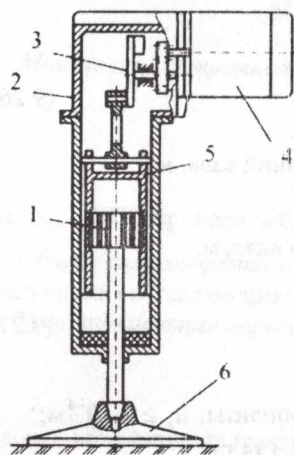


Рисунок 9.14 – Схема ручной пневмотрамбовки:

1 – поршень; 2 – корпус;
3 – кривошип; 4 – привод;
5 – рабочий цилиндр; 6 – башмак

Трамбование осуществляют в режиме отрыва трамбуемой поверхности от уплотняемого материала. Поэтому к основным параметрам трамбования относятся трамбуемый (ударный) импульс и его удельная характеристика, а также работа на уплотнение обрабатываемого материала, толщина уплотняемого слоя и др.

Трамбующий импульс, Н·м, зависит от массы m_t трамбовки и вертикальной скорости при ударе v_y плиты:

$$I_T = m_t v_y. \quad (9.30)$$

Важной характеристикой является **удельный трамбуемый импульс**, который определяет эффективность трамбования. Его находят из выражения

$$i_T = \frac{I_T}{S_T}. \quad (9.31)$$

где S_T – площадь трамбуемой поверхности, м².

Величина i_T связана с прочностными характеристиками уплотняемого материала. Должно выполняться соотношение

$$i_T \leq (0,8 \dots 0,9) [i_T], \quad (9.32)$$

где $[i_T]$ – предельно допускаемая величина удельного импульса, при котором наступает разрушение материала.

В качестве примера на рисунке 9.15 представлена конструктивная схема трамбовки с пневмоприводом.

Поступательное движение ударного рабочего органа – бойка 2 – осуществляют при помощи сжатого воздуха, который поступает через воздухо-распределитель 3 в корпус 4 пневмомолота. В свою очередь, боек наносит удар по плите 1, которая обеспечивает уплотнение материала. Частоту ударов регулируют распределительным устройством 3.

9.3 Машины для среднего ремонта асфальтобетонных покрытий

Поверхностная обработка дорожных покрытий является одной из наиболее энергосберегающих технологий ремонта и восстановления дорожной одежды, которая состоит в устройстве на дорожных покрытиях тонких слоев с целью обеспечения шероховатости, износостойкости и водонепроницаемости покрытий.

Для обеспечения высокого уровня безопасности движения на дорогах многих стран используют *шероховатые поверхностные слои* покрытий, имеющие повышенный коэффициент сцепления при сохранении их износостойкости. При этом поверхностный слой должен обеспечивать не только сцепление, но и дренирование воды для понижения порога аквапланирования колесных движителей автотранспортных средств.

Структуру поверхностных слоев покрытий формируют в основном следующими методами:

– распределением частиц щебня в размягченном слое асфальтобетонной смеси с помощью специального комплекта оборудования;

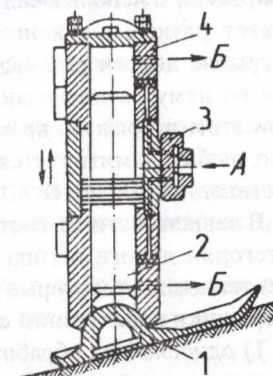


Рисунок 9.15 – Схема трамбовки

с пневмоприводом:
1 – плита-шабот; 2 – боек;
3 – воздухо-распределительное устройство; 4 – корпус;
А – подача сжатого воздуха;
Б – выход воздуха в атмосферу

– формированием крупнорельефной структуры (например, похожей на кирпичную кладку, брусчатку, булыжник и др.) путем обработки свежеложенного покрытия накаткой формообразующим инструментом;

– лазерной обработкой покрытия для удаления слоя битума и обнажения зерен каменного материала.

Первый метод является наиболее эффективным, поскольку при формировании слоя износа за счет совмещения вяжущего и щебня можно управлять не только структурой поверхности слоя износа, но и его составом, характеристиками компонентов и режимами поверхностной обработки.

Для реализации этого метода осуществляют раздельное или синхронное распределение компонентов АБ смеси (битумного вяжущего и щебня).

9.3.1 Машины для технологии раздельного распределения материалов

Традиционная **раздельная технология поверхностной обработки АБ покрытий** с использованием битумов или битумных эмульсий предусматривает раздельное нанесение компонентов: сначала на подготовленное покрытие дороги разливают или распыляют органическое вяжущее, а затем по нему распределяют частицы щебня с последующим уплотнением. При этом разрыв во времени между распределением вяжущего и россыпью щебня лимитируется временем остывания горячего битума и может достигать часа и более.

В зависимости от состава вяжущего (битума или битумной эмульсии), категории дороги и типа покрытия имеется несколько способов раздельной технологии, которые различаются между собой последовательностью операций и количеством слоев:

1) однослойная обработка с розливом вяжущего и распределением щебня одной или двух (крупной – 10–15 или 15–20 мм и мелкой – 5–10 мм) фракций с уплотнением слоя. Самой распространенной является поверхностная обработка, которую устраивают из щебня только мелкой фракции;

2) двухслойная обработка с последовательным нанесением и уплотнением двух слоев, состоящих из щебня крупной и мелкой фракций и вяжущего. На первый слой разлитого вяжущего распределяют крупную фракцию щебня и уплотняют, а затем разливают второй слой вяжущего и распределяют более мелкую фракцию с окончательным уплотнением. Ее применяют при необходимости создания шероховатого слоя износа на покрытиях, имеющих дефекты (сетку трещин, колеи, выбоины и др.).

Кроме упомянутых, имеется еще несколько менее распространенных способов поверхностной обработки покрытий (например, типа «сэндвич»).

Для реализации раздельной технологии необходим комплект дорожной техники, который включает следующие машины:

– *подметально-уборочную машину* для очистки покрытия от пыли и загрязнений;

– *автогудронатор* для распределения битума или битумной эмульсии;

– *щебнераспределитель*;

– *каток* для уплотнения обработанного слоя.

Автогудронаторы (АГ) предназначены для доставки органического вяжущего (битума или битумной эмульсии), его разогрева и дозированного распределения по поверхности дорожного покрытия. АГ содержит емкость для вяжущего, установленную на пневмоколесном шасси, а также системы подогрева, перекачки и распределения вяжущего.

Автогудронаторы классифицируют по следующим признакам:

– *по назначению* – дорожно-ремонтные и дорожно-строительные;

– *по способу передвижения* – прицепные, полуприцепные и самоходные (собственно автогудронаторы);

– *по вместимости цистерны*, л, – малой (до 4000), средней (до 9000) и большой (более 9000);

– *по приводу битумного насоса* – от двигателя базового тягача и от отдельного двигателя;

– *по способу подогрева вяжущего* – газовым и жидким теплоносителями, электронагревом.

В СНГ для дорожно-ремонтных и дорожно-строительных работ выпускают АГ, имеющие вместимость цистерн для органического вяжущего от 4000 до 15000 л.

Для прицепных и полуприцепных гудронаторов используют, как правило, автомобильные прицепы, полуприцепы и специальные одноосные тележки.

Самоходные АГ монтируют на шасси автомобилей или пневмоколесных тягачей. На рисунке 9.16 представлена типичная схема самоходного АГ, к основным агрегатам которого относятся цистерна для вяжущего 3, а также топливная 6 и распределительная 14 системы. Цистерна представляет собой сварную стальную конструкцию овальной формы, облицованную теплоизолирующим слоем нетканого стекловолоконистого материала (толщиной до 50 мм) и стальным листом. Внутри цистерны устанавливают перегородки для уменьшения динамических нагрузок на ее торцевые стенки в транспортном режиме. Она имеет систему обогрева горячими газами, которые образуются при сгорании топлива в горелках и проходят по жаровым трубам и распределительной системе для битума. Топливная система состоит из топливного бака, топливопровода, воздухопровода и горелок (стационарных и переносных).

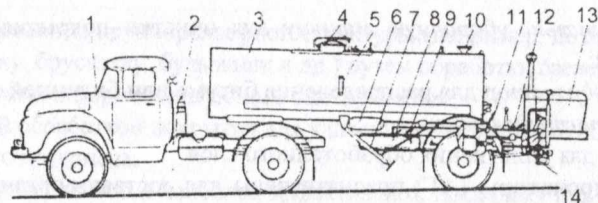


Рисунок 9.16 – Конструктивная схема автогудронатора:

1 – базовое шасси; 2 – огнетушитель; 3 – цистерна; 4 – заливной люк; 5 – термометр; 6 – топливная система; 7 – опорное устройство; 8 – запасное колесо; 9 – стояночный тормоз; 10 – штурвал открытия клапана; 11 – рычаг большого колеса; 12 – рычаг управления правым краном; 13 – двигатель; 14 – распределитель

На рисунке 9.17 представлена схема распределительной системы АГ, которая включает насос 14 для перекачки вяжущего, трубопроводы и краны, разливную распределительную рампу 13 с форсунками, а также ручной распределитель вяжущего для устранения возможных дефектов.

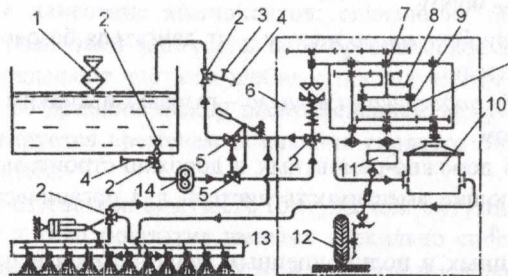


Рисунок 9.17 – Дозирочно-распределительная схема АГ:

1 – люк цистерны; 2 – кран; 3 – штуцер; 4 – трубопроводы выдачи и приема вяжущего; 5 – циркуляционный кран; 6 – система ОНР; 7 – выходной вал; 8 – солнечная шестерня; 9 – ось сателлитов; 10 – расходомер; 11 – вариатор; 12 – опорное колесо; 13 – распределительная рампа; 14 – битумный насос

Приведенная схема дозирования и распределения вяжущего обеспечивает его циркуляцию по различным трубопроводам (приемному, выдачи, напорному, возврата и промывки коммуникаций). Дозировочное устройство, включающее расходомер 10, имеет механический привод, который регулирует количество выходящего с учетом угловой скорости опорного колеса 12 и, как следствие, со скоростью передвижения машины.

В Беларуси применяют АГ отечественного и импортного производства. В таблице 9.11 представлены технические характеристики машин, которые различаются типом шасси, способом подогрева вяжущего в цистерне и др. Привод битумного насоса подачи вяжущего осуществляют от отдельного двигателя или от двигателя шасси через коробку отбора мощности, гидро-насос и гидромотор.

Таблица 9.11 – Характеристики автогудронаторов

Модель	АРБ-7	АРБ-8	ПМБ-7	БЦМ-65	ДС-4570	ИС-6М1
Шасси	МАЗ-5337	МАЗ-5336	МАЗ-5336	Полуприцеп (КамАЗ-53215)	МАЗ-4570W1	Самосвал МАЗ-5516W4
Масса, кг	19500	18000	16500	18100	10100	25000
Цистерна, л	7000	7000	6000	8000	4000	6000
В, м	0,2-4,0	0,2-4,3	0,2-4,3	2,5-4,2	4,0	4,0
Подогрев битума	ЖТ	ЖТ	МТ	ГТ	ЖТ	–
Норма розлива, л/м ³	0,5-3,0	0,5-3,0	0,5-2,0	0,2-3,0	0,3-2,5	0,3-2,5
v, км/ч, рабочая транспортная	6-20 60	6-20 60	60	2-10 80	4-20 85	–
Привод рабочего оборудования	От ДВС шасси ГП	От автономного ДВС	От автономного ДВС	От ДВС (47,8 кВт) ГП	ГП	ГП
Особенности конструкции	–	Massensa (с уличной длиной 4 м)	Два масляных бака	С разливной балкой (от 2 до 5 м)	–	–

Примечания – В – ширина розлива вяжущего; v – скорость машины; ЖТ – жидкое (дизельное) топливо; МТ – масляный теплоноситель; ГТ – газовое топливо.

Щебнераспределители (ЩР), работающие в комплекте с автогудронаторами, предназначены для равномерного распределения минерального материала по обрабатываемой поверхности дорожного покрытия. Кроме того, их используют для расширения дорожного полотна и укрепления обочин путем подсыпки щебня, гравия или песка в зависимости от категории дороги. ЩР целесообразно классифицировать по следующим признакам:

- по способу передвижения – навесные, прицепные и самоходные;
- по типу ходовой системы – гусеничные и пневмоколесные;
- по типу распределительного органа – щелевые, тарельчатые, барабанные, шнековые и комбинированные;
- по вместимости бункера, м³, – малой (до 5), средней (5–10) и большой (более 10).

При раздельном совмещении вяжущего и щебня ЩР должны отвечать ряду требований. Во-первых, их производительность должна быть равной или кратной производительности машин, составляющих комплект по устройству дорожной одежды. Во-вторых, ширина распределения щебня должна соответствовать ширине распределения вяжущего. В-третьих, ЩР должны обеспечивать требуемый поперечный профиль и равномерность распределения щебня по обрабатываемой поверхности.

В качестве распределительного устройства используют, как правило, комбинированные рабочие органы, состоящие из шнекового питателя и распределительного барабана.

Навесные ЩР имеют наиболее простую конструкцию и представляют собой бункеры с устройством для дозирования и распределения щебня. Для реализации раздельной технологии используют ЩР, агрегируемые с автомобилями-самосвалами в качестве навесного оборудования.

Дорожные организации нашей страны эксплуатируют ряд моделей ЩР подобного типа. В их числе ЩРД-3.5; ЩРДС-1400, собранные из узлов и агрегатов фирмы «SECMAIR» (Франция), и ЩРД-1400, собранные из отечественных комплектующих (производства ГП «Дорвектор» Молодечно). В таблице 9.12 представлены характеристики некоторых щебнераспределителей, в том числе отечественных. Для дорожно-ремонтных работ в основном используют прицепные и навесные ЩР, реже – самоходные.

Таблица 9.12 – Технические характеристики щебнераспределителей

Модель	Бункер, м ³	Тип	Ширина, мм	Масса, кг	v, км/ч	Тягач
ОНУ-2300	1,9	Н	500–2300	1700	2–4	МТЗ-92П
ЦМ-70	1,5	П	3000	1500	4	ЗИЛ, КамАЗ, МАЗ
ЩР-360	1,9	П	3600	2000	4–6	КамАЗ, КРАЗ
ЩР-450	1,5	П	4500	2400		КамАЗ, КРАЗ
ЩРДС-1400	–	Н	3180	810	3–5	МАЗ, КамАЗ
ЩРД-4,0	1,9	П	3750	2190		
ЩРД-3,5	2,1	П	3500	2100		

Щебнераспределитель ЩРДС-1400 (ЩРД-1400), представленный на рисунке 9.18, устанавливают на самосвал МАЗ-5551 вместо заднего борта кузова и подключают к электро-, пневмо- и гидросистемам автомобиля. Управление его работой производит с площадки оператор при поднятом кузове самосвала. Дозировочно-распределительное устройство включает шнековый питатель, распределительный вал, щель и заслонки. Ширину распределения щебня регулируют в пределах от 160 до 3180 мм с помощью шиберных заслонок, управляемых пневмоцилиндрами.



Рисунок 9.18 – Щебнераспределитель ЩРДС-1400 (ЩРД-1400)

Примером *прицепного ЩР* может служить конструкция щебнераспределителя ЩРД-3.5, представленного на рисунке 9.19.

Его агрегатирование с автомобилем осуществляют посредством легкосъемного прицепного устройства (дышла), которое связывает обода задних колес самосвала с колесными дисками ходового оборудования щебнераспределителя. Такая конструкция сокращает простои при сборке и позволяет использовать различные базовые машины (МАЗ-5551, КамАЗ-55111 и др.).



Рисунок 9.19 – Щебнераспределитель ЩРД-3.5

На рисунке 9.20 приведена принципиальная схема этого распределителя, смонтированного на раме двухосной тележки. На передней оси устанавливают обрешиненные приводные опорные колеса 7, на задней – опорные колеса 6 малого диаметра. Бункер 3 представляет собой емкость (объемом 2,1 м³) из листовой стали, снабженную дозировочно-распределительной системой (шнеки, заслонки, валок), которая распределяет щебень по ширине дорожного полотна в интервале от 0,25 до 3,5 м. В бункере установлены шнековые питатели 8 с левой и правой навивками.

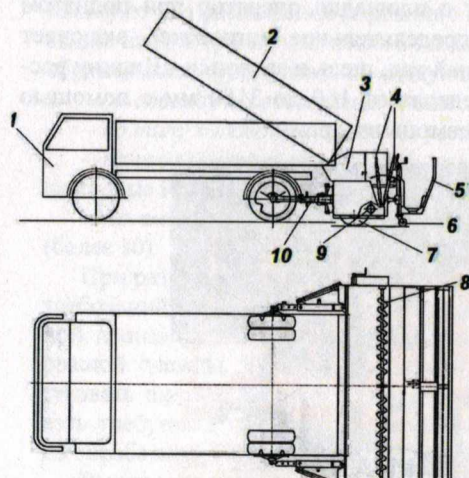


Рисунок 9.20 – Принципиальная схема щебнераспределителя ЩРД-3.5:

1 – базовый самосвал; 2 – кузов; 3 – бункер;
4 – рычаги привода рабочего оборудования;
5 – откидная площадка оператора; 6 – опорное колесо; 7 – приводное опорное колесо; 8 – шнек;
9 – распределительный валок; 10 – дышло

Для дозирования распределяемого материала служат поворотные шиберные заслонки, смонтированные на валу. Ширина одной заслонки составляет 0,25 м. Для изменения ширины распределения (т. е. ширины просыпной щели) закрывают необходимое число заслонок. Распределительный валок 9 обеспечивает равномерное распределение щебня по дорожному полотну. Управление всеми

рабочими органами (обоими шнеками, шиберными заслонками, валком) осуществляют два оператора рычагами 4 с рабочей площадки 5.

Привод вращающихся рабочих органов распределителя (шнеков и валка) осуществляют от опорных обрешиненных колес через коробку реверсивных передач и цепные передачи.

Подачу щебня в зону распределения производят при поднятом кузове самосвала. Базовый автомобиль в рабочем режиме движется задним ходом со скоростью 3–5 км/ч, что обеспечивает производительность в пределах 8750–12250 м² или 2500–3500 погонных метров поверхностной обработки в смену. В Беларуси используют прицепные ЩР на базе трактора МТЗ-80/82. На рисунках 9.21 и 9.22 представлен вариант переднеприцепного устройства к трактору 11. Он представляет собой (см. рисунок 9.21) бункер 2 для щебня (грузоподъемностью 5 т), смонтированный на раме одноосной тележки. В нижней части бункера устанавливают шнековый питатель 4 и распределительный вал 3, которые распределяют щебень по полосе шириной 3,5 м.

Поворот ЩР производят, изменяя его положение относительно базового трактора с помощью пары гидроцилиндров 7.

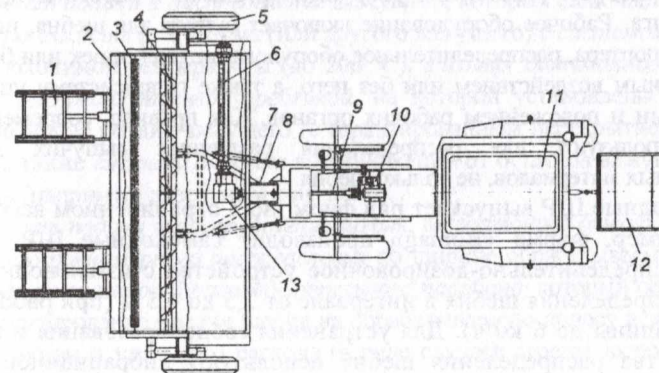


Рисунок 9.21 – Конструктивная схема щебнераспределителя:

1 – откидной трап для заезда самосвала; 2 – бункер; 3 – распределительный барабан;
4 – шнек-питатель; 5 – опорное колесо; 6 – вал привода цепных передач; 7 – гидроцилиндр поворота ЩР; 8 – дышло; 9 – передний вал отбора мощности; 10 – гидронасос;
11 – базовый трактор; 12 – прицепной каток; 13 – редуктор

Привод шнека 12 и барабана 11 (см. рисунок 9.22) осуществляют от вала отбора мощности 1 трактора через механические передачи (3, 6, 9 и 10), что обеспечивает распределение щебня в интервале рабочих скоростей 1,6–5,6 км/ч.

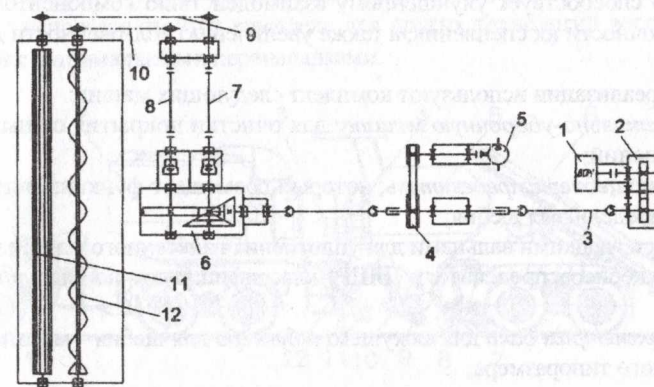


Рисунок 9.22 – Кинематическая схема привода рабочих органов щебнераспределителя:

1 – вал отбора мощности; 2 – редуктор отбора мощности; 3 – карданная передача; 4 – ременная передача привода гидронасоса; 5 – гидронасос; 6 – редуктор привода рабочих органов; 7 – вал привода распределительного барабана; 8 – вал привода шнека; 9, 10 – цепные передачи привода барабана и шнека; 11 – распределительный барабан; 12 – шнек

Самоходные ЦР содержат следующие основные элементы: пневмоколесное шасси, двигатель, раму, рабочее оборудование, гидравлическую и пневматическую системы управления рабочими органами и агрегатами, систему мониторинга. Рабочее оборудование включает бункер для щебня, питатель в виде транспортера, распределительное оборудование (вал, шнек или барабан) с вибрационным воздействием или без него, а также гидросистему управления параметрами и положением рабочих органов. Как правило, современные машины используют для распределения различных сыпучих дорожно-строительных материалов, не только щебня.

Самоходные ЦР выпускает ряд фирм, но в ограниченном ассортименте. Например, фирма «Bomag» производит самоходные ЦР, которые имеют распределительно-дозировочное устройство с изменяющейся шириной распределения щебня в интервале от 2,5 до 4,5 м (при рабочих скоростях машины до 6 км/ч). Для устранения сводообразования и повышения качества распределения щебня используют вибрационное воздействие на рабочие органы.

Часто функции самоходных щебнераспределителей выполняют битумо-щебнераспределители, работающие только в режиме распределения щебня.

9.3.2 Машины для технологии синхронного распределения материалов

Технология синхронного распределения вяжущего и щебня является менее энергоемкой, чем раздельная технология. Кроме того, она обеспечивает минимальный разрыв во времени между нанесением слоя вяжущего и слоя щебня, что способствует улучшенному взаимодействию компонентов и повышенной прочности их сцепления, а также увеличению долговечности дорожной одежды.

Для ее реализации используют комплект следующих машин:

- подметально-уборочную машину для очистки покрытия от пыли и других загрязнений;
- битумо-щебнераспределитель, который совмещает функции автогудронатора и распределителя щебня;
- каток с гладкими вальцами для уплотнения нанесенного материала.

Битумо-щебнераспределители (БЩР) классифицируют по следующим признакам:

- по параметрам бака для вяжущего и бункера для щебня – малого, среднего и большого типоразмера;
- по механизму загрузки щебня – с использованием загрузочных машин и самозагрузочного оборудования;
- по типу шасси – на шасси грузового автомобиля, на прицепе и полуприцепе.

В СНГ, США, Франции, Германии и Швеции серийно выпускают дорожную технику для выполнения работ по устройству шероховатых покрытий по

синхронной технологии. Как правило, БЩР включает пневмоколесный тягач и двухосный полуприцеп с рабочим оборудованием, которое содержит следующие основные узлы:

1) агрегат подачи и распределения вяжущего, который включает теплоизолированную емкость для битума (или другого вяжущего) с системой его нагрева до необходимой температуры (до 200 °С), фильтр, битумонасос, битумопровод с распределительной гребенкой, на которой установлены форсунки, обеспечивающие розлив вяжущего (с гарантированным перекрытием струй по высоте), а также систему очистки коммуникаций от остатков вяжущего путем промывки (например, дизельным топливом);

2) агрегат подачи и распределения щебня, включающий бункер для щебня, систему его равномерного распределения по ширине обрабатываемой полосы, состоящую из заслонок и распределительного барабана, который обеспечивает точное регулирование подачи щебня на обрабатываемую полосу в зависимости от его фракции и удельного расхода (в ряде случаев агрегат включает шнек-питатель);

3) автоматизированную систему управления рабочими процессами с помощью бортовых компьютеров.

В качестве примера основных агрегатов и систем машины подобного типа на рисунке 9.23 приведена схема БЩР, который представляет собой автопоезд в составе автомобильного тягача 1 и полуприцепа 8. На его раме устанавливают битумную цистерну 2 и битумопровод с распределительной гребенкой 11 и битумным насосом, механизм загрузки и бункер-накопитель щебня 5, щебне-распределитель 9 и уплотнитель щебня 7. Блочно-модульная компоновка БЩР позволяет использовать этот комплекс для других технологий восстановления покрытий с минимальными переналадками.

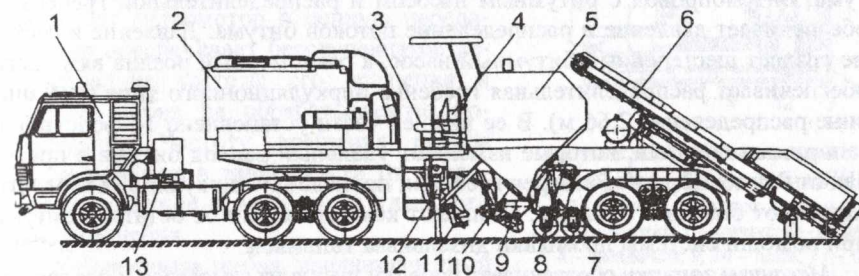


Рисунок 9.23 – Конструктивная схема битумо-щебнераспределителя:

- 1 – тягач; 2 – гудронатор; 3 – площадка оператора; 4 – панель управления;
- 5 – бункер для щебня; 6 – погрузчик; 7 – валец для уплотнения щебня; 8 – полуприцеп;
- 9 – щебне-распределитель; 10 – шнек-дозатор; 11 – распределитель битума;
- 12 – опорное устройство; 13 – бак с рабочей жидкостью для гидросистемы

На рисунке 9.24 приведена кинематическая схема БЩР. Ротор щебнераспределителя приводят от коробки отбора мощности 3 через гидрообъемную передачу 5, 13 и цепные передачи 10 и 11. Подачу битума осуществляют с помощью битумного насоса 16, который приводят от коробки отбора мощности 20 и гидрообъемной передачи 18, 17.

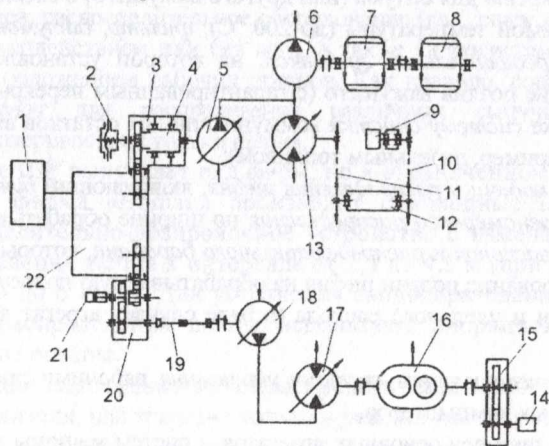


Рисунок 9.24 – Кинематическая схема битумощебнераспределителя:

1 – двигатель тягача; 2 – пневмокамера включения муфты; 3, 20 – коробки отбора мощности; 4 – муфта включения гидронасоса; 5, 18 – гидронасосы; 6 – гидромотор привода транспортера; 7, 8 – ленты транспортера; 9 – преобразователь; 10, 11 – цепные передачи; 12 – ротор щебнераспределителя; 13 – гидромотор привода щебнераспределителя; 14 – преобразователь; 15 – мультипликатор; 16 – битумный насос; 17 – гидромотор привода битумного насоса; 19 – карданная передача; 21 – пневмоцилиндр включения муфты; 22 – коробка передач тягача

На рисунке 9.25 представлена конструктивная схема распределителя битума. Битумопровод с битумным насосом и распределительной гребенкой обеспечивает давление и распределение потоков битума. Давление в системе создает шестеренный битумный насос, а равномерный розлив вязущего обеспечивает распределительная гребенка циркуляционного типа (при ширине распределения 2,66 м). В ее нижней части установлено 14 форсунок с запорными соплами, которые изменяют удельный расход битума в пределах от 0,7 до 1,3 л/м². Разогрев гребенки производят циркуляцией горячего битума от битумного насоса. Очищают коммуникации от остатков битума при помощи системы промывки дизельным топливом.

Механизм загрузки обеспечивает приемку щебня из самосвала и его загрузку в бункер-накопитель. Он представляет собой погрузчик с ленточным транспортером и приемным бункером с откидывающимися бортами для увеличения его вместимости. Щебень из приемного бункера через дозировочные окна, оборудованные регулировочными заслонками, попадает на две транспортерные ленты, которые перемещают щебень в бункер-накопитель.

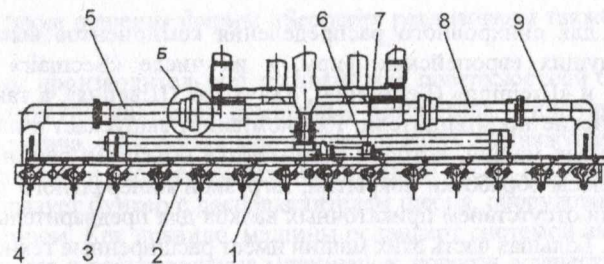


Рисунок 9.25 – Схема распределителя битума БЩР:

1 – рейка; 2 – распределитель; 3 – форсунка; 4, 5, 8, 9 – битумопроводы; 6 – поперечина; 7 – гидrocилиндр

Накопитель щебня предназначен для приема и накопления щебня. Он состоит из двух частей: бункера-накопителя и нижнего бункера. Бункер-накопитель выполнен как единое целое с рамой полуприцепа. Нижний бункер снабжен шиббер-дозатором для снижения давления щебня на ротор щебнераспределителя. Щебень из нижнего бункера попадает на ротор щебнераспределителя.

Щебнераспределитель этой машины, представленный на рисунке 9.26, обеспечивает равномерное однослойное распределение щебня по дорожному полотну (при ширине 2500 мм). Привод ротора включает гидромотор и цепную передачу, что обеспечивает бесступенчатое регулирование частоты его вращения и подачи щебня на обрабатываемую поверхность. Частоту вращения ротора устанавливают в зависимости от скорости передвижения машины и удельного расхода щебня.

Уплотнитель щебня, предназначенный для прикатки и предварительного уплотнения распределенного щебня, представляет собой три вальца, которые установлены на общей траверсе. Каждый валец оборудован скребками и снабжен системой смачивания водой для очистки его поверхности от налипания щебня и битума.

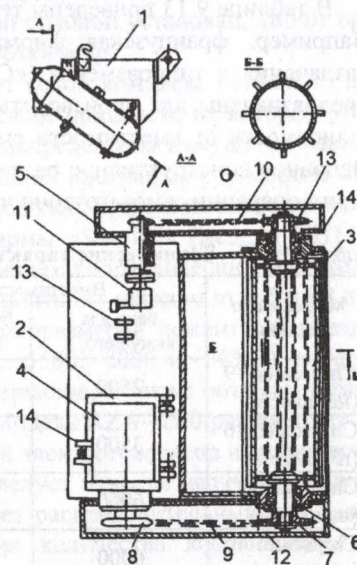


Рисунок 9.26 – Схема устройства для распределения щебня БЩР:

1 – бункер; 2 – плита; 3 – ротор; 4 – гидромотор; 5 – корпус; 6 – крышка; 7, 8 – звездочки; 9, 10 – цепи; 11 – преобразователь; 12 – защитный кожух; 13 – ухо; 14 – механизм регулировки натяжения цепи

Технику для синхронного распределения компонентов выпускают несколько ведущих европейских фирм, в их числе «Secmair» (Франция), «L. Schafer» и «Breining» (Германия), «Savalco» (Швеция), а также российские и китайские производители. Ряд компаний выпускает типоразмерные ряды ремонтных машин, которые различаются объемами ремонтных работ, шириной полосы обработки покрытий, загрузкой минерального заполнителя, наличием или отсутствием прикаточных валков для предварительного уплотнения смеси. Большая часть этих машин имеет расширенные технологические возможности, которые позволяют производить три основных вида работ:

- 1) однослойную поверхностную обработку;
- 2) ремонт мелких трещин, используя поверхностную обработку;
- 3) многослойную обработку с двойным распределением вяжущего.

В таблице 9.13 приведены технические характеристики некоторых БЩР. Например, французская фирма «Secmair» выпускает БЩР различного назначения и типоразмеров («Chipsealer-19, -26, -32 и -40»). Эти машины предназначены для производства ремонтных работ в различных объемах в зависимости от вместимости емкости для вяжущего и бункера для щебня. Основное конструктивное различие моделей состоит в наличии или отсутствии операции самозагрузочного оборудования для щебня.

Таблица 9.13 – Технические характеристики битумощебнераспределителей

Марка и тип машины	Вместимость		Ширина обработки, м	Способ загрузки щебня
	бака для вяжущего, л	бункера для щебня, м³		
Chipsealer-19 (на шасси)	2500	4,0	До 2,5	Погрузчиком, краном с грейфером
Chipsealer-26 (п/прицеп)	3500	6,0	До 3,1	
Chipsealer-32 (на шасси)	6000	8,0	До 3,1	Самозагрузка краном с грейфером
Chipsealer-40 (п/прицеп)	6000	12,0	До 3,85	
НН110Т COMBI TELESPRAY 480 (п/прицеп)	11000	10,0	До 4,8	Из самосвала
RZA-14000	14000	18 (т)	До 4,0	
РД-701 (прицеп)	6000	6,0	До 3,5	
RGS (на шасси)	6000	6,0	До 4,4	
ДС-180 (п/прицеп)	4000	7,0	До 2,5	Из самосвала

Технические решения фирмы «Secmair» реализованы также в БЩР марки РД-701.

Наиболее производительной техникой для поверхностной обработки дорожных покрытий являются ремонтные автопоезда. Типичный автопоезд состоит из тягача, на котором монтируют емкость для вяжущего с системой его подогрева и распределения, и прицепной части, металлоконструкция которой образует бункер с распределителем щебня, оборудованный ленточным элеватором. Как правило, машины оснащают системой автоматического дозирования и распределения материалов, которая осуществляет поверхностную обработку по технологической карте, введенной в бортовой компьютер машины.

В таблице 9.13 представлено несколько автопоездов различных фирм, которые различаются степенью автоматизации технологических процессов, наличием или отсутствием дополнительной силовой установки, типом привода регулирования ширины полосы обработки и др.

Автопоезд «Chipsealer-40» представляет собой комплекс длиной 13 м и массой 35 т с седельным тягачом и двухосным прицепом, на котором установлено рабочее оборудование. Система распределения вяжущего позволяет производить подачу материала (по заданной программе с помощью бортового компьютера) как по всей зоне распределения, так и на изменяемой по ширине полосе. Ремонтный автопоезд фирмы «Savalco» (модели НН110Т COMBI TELESPRAY 480) отличается наличием гидравлических телескопических устройств, распределяющих компоненты на ширину от 2,5 до 4,8 м. Фирма «Schafer» выпускает несколько типоразмеров ремонтных поездов для поверхностной обработки (RZA-4000, -5500, -8000 и -14000), которые различаются шириной распределения материалов, а также объемами емкости для вяжущего и бункера для щебня. Модель RZA-4000 располагает автономной силовой установкой, приводящей электрогенератор и гидронасос.

К достоинствам ремонтных поездов следует отнести наличие принудительной системы дозирования щебня через распределительный вал и возможность бесступенчатого регулирования количества компонентов для обеспечения заданного состава смеси.

О преимуществах синхронной технологии свидетельствуют следующие цифры. При использовании БЩР (например, марки ДС-180) расход вяжущего снижается на 10–12 %, расход щебня – на 40–45 %. При этом срок службы дорожного покрытия увеличивается на 30 %, т. е. до 4–5 лет.

Уплотнение свежеложенного шероховатого слоя производят, как правило, легкими или средними пневмоколесными катками с гладкими шинами или катками с обрешеченными металлическими вальцами.

Расчет автогудронатора включает определение основных параметров технологического оборудования, тепловой расчет, тяговый расчет, баланс мощности, расчет гидросистемы управления агрегатами и рабочими органами.

При оценке основных параметров оборудования определяют объем цистерны для битума и устанавливают рабочие скорости розлива битума по обрабатываемой поверхности.

Объем цистерны, л,

$$V_{ц} = 1,25 \frac{\Pi T}{8 \cdot 60 \kappa_{в}}, \quad (9.33)$$

где Π – заданная сменная производительность АГ, л/мин;

T – продолжительность одного рейса, мин;

$\kappa_{в}$ – коэффициент использования агрегата по времени, $\kappa_{в} = 0,85 \dots 0,95$.

Эту продолжительность, мин, можно рассчитать по формуле

$$T = \frac{1}{60} \left(t_{н} + \frac{L}{v_{г}} + \frac{L}{v_{п}} + t_{р} + t_{м} + t_{п} \right), \quad (9.34)$$

где $t_{н}$ – время заполнения цистерны битумом, $t_{н} = 600 \dots 900$ с;

L – длина пути транспортирования битума, м;

$v_{г}, v_{п}$ – скорости движения груженого и порожнего АГ, м/с;

$t_{р}$ – время розлива битума по обрабатываемой поверхности;

$t_{м}$ – время маневрирования АГ на объекте, $t_{м} = 240 \dots 360$ с;

$t_{п}$ – время на подготовку АГ и розлив битума, $t_{п} = 300 \dots 360$ с.

Время розлива битума, с,

$$t_{р} = \frac{V_{ц}}{v_{р} q_6 l} = \frac{V_{ц}}{\Pi_{6н}}, \quad (9.35)$$

где $v_{р}$ – рабочая скорость АГ при розливе, м/с;

q_6 – норма розлива битума, л/м²;

l – ширина розлива, м;

$\Pi_{6н}$ – производительность битумного насоса, л/с.

Мощность привода битумного насоса, Вт,

$$N_{н} = 10^{-3} \frac{\Pi_{т} P_{р}}{\eta_{н}}, \quad (9.36)$$

где $\Pi_{т}$ – теоретическая (расчетная) подача насоса, л/с;

$P_{р}$ – расчетное суммарное давление, создаваемое насосом, МПа;

$\eta_{н}$ – КПД трансмиссии от двигателя до насоса.

Суммарное давление

$$P_{р} = 1,1(P_{п} + \sum P_{м} + P_{р6}), \quad (9.37)$$

где $P_{п}$ – потери давления по длине трубопровода, МПа;

$\sum P_{м}$ – местные потери давления на отводах, кранах, вентилях и др., МПа;

$P_{р6}$ – давление при розливе битума, $P_{р6} = 0,5 \dots 0,6$ МПа.

Габариты цистерны устанавливают исходя из рассчитанного объема. Ширина цистерны не должна превышать поперечных размеров транспортного средства, а ее высоту выбирают минимально возможной.

Рабочая скорость гудронатора, м/с,

$$v_{р} = \frac{\Pi_{6н}}{60 q_6 l}, \quad (9.38)$$

где $\Pi_{6н}$ – производительность битумного насоса, л/с;

q_6 – требуемая концентрация вяжущего на обрабатываемой поверхности, $q_6 = 0,5 \dots 13,0$ л/м²;

l – ширина розлива, равная длине распределительной рамп (трубы), м.

Тепловой расчет автогудронатора включает решение следующих задач:

– расчет толщины слоя теплоизоляции цистерны;

– расчет отопительной системы, которая способствует нагреву битума до заданной температуры за определенное время.

Толщину теплоизоляционного слоя находят по следующей методике.

Теплота, которую нагретый битум отдает в течение часа в окружающую среду, Дж,

$$Q = m_6 c_6 (t_1 - t_2), \quad (9.39)$$

где m_6 – масса битума, кг;

c_6 – удельная теплоемкость битума, $c_6 = 2100$ Дж/(кг·град) при 150–180 °С;

t_1 – начальная температура битума, °С;

t_2 – температура битума после 1 часа нахождения цистерны на воздухе, °С.

В свою очередь, эта теплота, Дж, проходит через поверхность цистерны, т. е.

$$Q = \kappa_{т} F_{ц} (t_6 - t_{в}), \quad (9.40)$$

где $\kappa_{т}$ – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·град);

$F_{ц}$ – площадь поверхности цистерны, м²;

t_6 – средняя температура битума в цистерне, °С;

$t_{в}$ – температура окружающей среды (воздуха), °С.

Отсюда

$$\kappa_{т} = \frac{m_6 c_6}{F_{ц}} \frac{t_1 - t_2}{t_6 - t_{в}}. \quad (9.41)$$

Площадь поверхности цистерны состоит из площадей боковой поверхности и двух днищ:

$$F_{\text{ц}} = F_{\text{бок}} + 2F_{\text{дн}}. \quad (9.42)$$

Площадь боковой поверхности при эллиптической форме цистерны, м²,

$$F_{\text{бок}} = \pi L \sqrt{2(a^2 + b^2) - \frac{1}{4}(a-b)^2}, \quad (9.43)$$

где L – длина цистерны, м;

a, b – полуоси эллипса, м.

Площадь днища, м²,

$$F_{\text{дн}} = \pi ab. \quad (9.44)$$

Цистерна имеет стальную стенку, затем теплоизоляционный слой и наружный стальной кожух. Для этого случая коэффициент теплопередачи

$$K_{\text{т}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (9.45)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от битума к стенке цистерны,

$\alpha_1 = 97,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}$;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от стального кожуха к воздуху, Вт/(м²·град);

δ_1 – толщина стальной стенки цистерны, $\delta_1 = 0,004 \text{ м}$;

δ_2 – толщина теплоизоляционного слоя стекловолокнистого материала, м (ее необходимо определить);

δ_3 – толщина стенки наружного стального кожуха, $\delta_3 = 0,001 \dots 0,002 \text{ м}$;

λ_1 – коэффициент теплопроводности стали, $\lambda_1 = 46,5 \dots 58,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}$;

λ_2 – коэффициент теплопроводности стекловолокнистого материала,

$\lambda_2 = 0,044 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}$.

Коэффициент теплоотдачи от наружного кожуха к воздуху, зависящий от скорости движения АГ, находят по формуле

$$\alpha_2 = 4,24 \frac{v_{\text{ц}}^{0,805}}{D_{\text{ц}}^{0,195}}, \quad (9.46)$$

где $v_{\text{ц}}$ – скорость движения машины, $v_{\text{ц}} = 4 \dots 5 \text{ м/с}$;

$D_{\text{ц}}$ – средний диаметр цистерны, м.

Чтобы найти δ_2 , т. е. толщину теплоизоляции, необходимо приравнять выражения (9.41) и (9.45).

При расчете отопительной системы цистерны с битумом, которая состоит из жаровых труб, принимают следующие допущения: битум в цистерне должен нагреваться от температуры 120°C (t_1) до температуры 180°C (t_2):

а) за 0,5 ч при вместимости цистерны до 10 м^3 ;

б) за 1 ч при вместимости более 10 м^3 .

Количество теплоты, необходимое для нагрева битума за 1 ч при указанной разности температур, Дж,

$$Q = m_b c_b (t_2 - t_1). \quad (9.47)$$

Соответственно, для нагрева битума в течение 0,5 ч требуется в два раза меньшее количество теплоты, т. е. $0,5Q$.

Потери теплоты по различным причинам, включая неполноту сгорания, уходящие газы и др., $q_{\text{п}} = 28 \dots 31\%$, или $q_{\text{п}} = 0,28 \dots 0,31$.

Эти потери можно выразить через теплоту сгорания

$$q'_{\text{п}} = q_{\text{п}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}, \quad (9.48)$$

где $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – низшая теплота сгорания, Дж/кг.

Если выражение (9.48) характеризует потери тепла, то на подогрев битума приходится $0,69 \dots 0,72$, т. е. полезную теплоту $q_{\text{пол}}$ можно найти из выражения

$$q_{\text{пол}} = (1 - q_{\text{п}}) Q_{\text{н}}^{\text{р}}. \quad (9.49)$$

Для определения температуры горения топлива используют выражение

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} - q'_{\text{п}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{т}} = t_{\text{г}} \sum_1^n q_i c_i, \quad (9.50)$$

где $Q_{\text{в}}$ – теплота, внесенная в топку 1 кг воздуха, Дж/кг;

$Q_{\text{т}}$ – теплота, внесенная в топку 1 кг топлива, Дж/кг;

q_i – массовая доля составных частей продуктов сгорания 1 кг топлива, кг;

c_i – удельная теплоемкость этих продуктов, Дж/(кг · град).

В свою очередь, $Q_{\text{в}}$ и $Q_{\text{т}}$ можно определить по следующим формулам:

$$\begin{aligned} Q_{\text{в}} &= \alpha_{\text{из}} c_{\text{в}} t_{\text{в}} L_{\text{т}}; \\ Q_{\text{т}} &= c_{\text{т}} t_{\text{т}}, \end{aligned} \quad (9.51)$$

где $\alpha_{\text{из}}$ – коэффициент избытка воздуха;

$c_{\text{в}}, c_{\text{т}}$ – удельная теплоемкость воздуха и топлива, Дж/(кг · град);

$t_{\text{в}}, t_{\text{т}}$ – температура воздуха и топлива, °C;

$L_{\text{т}}$ – масса воздуха для сжигания 1 кг топлива, кг.

Температура горения с учетом выражений (9.51) из формулы (9.50), град,

$$t_r = \frac{Q_p - q'_n + \alpha_{из} c_b t_b L_T + c_T t_T}{\sum_{i=1}^n g_i c_i} \quad (9.52)$$

Площадь поверхности жаровых труб

$$F_{тр} = \frac{B \sum_{i=1}^n g_i c_i}{K_T} \lg \frac{t_r - t_6}{t_{yx} - t_6}, \quad (9.53)$$

где t_6 – средняя температура битума, °C,

t_{yx} – температура уходящих газов, $t_{yx} = 300 \dots 350$ °C;

K_T – коэффициент теплопередачи от жаровых труб к битуму, Вт/(м²·град),

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (9.54)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от горячих газов к железу жаровых труб,

$\alpha_1 = 23 \dots 69$ Вт/(м²·град);

α_2 – коэффициент теплоотдачи от железных труб к битуму,

$\alpha_2 = 17,1$ Вт/(м²·град);

δ – толщина стенок жаровых труб, $\delta = 0,005$ м;

λ – коэффициент теплопроводности железа, $\lambda = 46 \dots 57$ Вт/(м·град).

Оценив площадь поверхности труб по формуле (9.53), можно задать их диаметр с учетом известных рекомендаций и определить длину.

Расчет самоходного щебнераспределителя включает:

1) определение основных параметров машины, включая массу машины, характеристики приемного бункера и распределительного устройства, рабочие и транспортные скорости, мощность силовой установки;

2) тяговый расчет;

3) баланс мощности;

4) расчет гидросистемы управления ЩР.

Как правило, исходными данными для расчетов являются заданная производительность, а также ширина полосы распределяемого материала.

В расчетах основных характеристик агрегатов ЩР необходимо согласовывать производительность приемного и распределительного устройств с учетом вместимости бункера.

Основные параметры приемного бункера определяют конструктивно. Его ширина по верху обычно соответствует габаритам ЩР, а в нижней ча-

сти зависит от габаритов транспортера-питателя. При проектировании бункера следует использовать откидные боковые борта. Вместимость бункера должна быть равной или кратной объему кузова автосамосвала или другого транспортного средства.

Рабочую скорость машины, м/с, при распределении щебня можно определить исходя из заданной производительности:

$$v_p = 3,6 \cdot 10^3 \frac{P_3}{K_B B_{щ} h_{щ}}, \quad (9.55)$$

где P_3 – эксплуатационная производительность, м³/ч;

K_B – коэффициент использования по времени, $K_B = 0,85$;

$B_{щ}$ – ширина укладываемого слоя щебня, м;

$h_{щ}$ – толщина укладываемого слоя, м.

Тяговый расчет состоит в определении сопротивлений, преодолеваемых ЩР в рабочем и транспортном режимах.

При движении машины в рабочем режиме к наиболее значимым относятся сопротивление перемещению машины и сопротивление перемещению груженого самосвала, а также сопротивление сил инерции при трогании с места ЩР и автосамосвала после вынужденных остановок.

Сопротивление перемещению ЩР, Н,

$$W_{пер} = (G_{щp} + G_{щ}^6)(f_1 + i), \quad (9.56)$$

где $G_{щp}$, $G_{щ}^6$ – силы тяжести щебнераспределителя и щебня в бункере, Н;

f_1 – коэффициент сопротивления перемещению машины по асфальтобетону, $f_1 = 0,03 \dots 0,07$;

i – уклон, $i = 0,03 \dots 0,07$.

Сопротивление перемещению груженого самосвала, Н,

$$W_c = (G_c + G_{щ}^c)(f_1 + i), \quad (9.57)$$

где G_c , $G_{щ}^c$ – силы тяжести самосвала и щебня в его кузове, Н.

Сопротивление сил инерции ЩР и автосамосвала при возобновлении движения после остановок, Н,

$$W_{ин} = \frac{G_{щp} + G_{щ}^6 + G_c}{g} \frac{v_p}{t_{раз}}, \quad (9.58)$$

где $t_{раз}$ – время разгона до рабочей скорости, $t_{раз} = 1 \dots 2$ с.

Таким образом, суммарная сила сопротивления движению

$$W = W_{\text{пер}} + W_{\text{с}} + W_{\text{ин}}. \quad (9.59)$$

На первом этапе проектирования, зная общее сопротивление передвижению из формулы (9.59), можно определить мощность двигателя ЦР, когда еще не известны другие характеристики машины. Ее же можно использовать для проверочного расчета.

Баланс мощности позволяет более точно подобрать двигатель машины, обеспечивающий одновременное функционирование рабочего оборудования и перемещение ЦР. При этом следует учитывать мощности, затрачиваемые на приводы транспортеров-питателей и шнека, на гидрооборудование и передвижение ЦР и автосамосвала на рабочих скоростях.

Мощность на передвижение ЦР, кВт,

$$N_{\text{пер}} = 10^{-3} \frac{W v_p}{\eta_{\text{тр}}}, \quad (9.60)$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии привода хода.

Мощность привода транспортера-питателя затрачивается на перемещение и подъем щебня, включая преодоление сил внутреннего трения частиц.

Мощность привода транспортера-питателя, кВт,

$$N_{\text{тп}} = 10^{-3} \frac{\kappa_d \omega_{\text{сп}} \rho g b h L v_{\text{ц}}}{\eta_{\text{тп}}}, \quad (9.61)$$

где κ_d – коэффициент динамичности, $\kappa_d = 1,2 \dots 1,3$;

$\omega_{\text{сп}}$ – коэффициент сопротивления перемещению смеси, $\omega_{\text{сп}} = 0,2 \dots 0,3$;

h – высота щели между питателем и заслонкой, м;

b, L – ширина и длина транспортера-питателя, м;

$v_{\text{ц}}$ – скорость цепи привода транспортера, м/с;

$\eta_{\text{тп}}$ – КПД привода транспортера-питателя.

Мощность привода шнека, кВт,

$$N_{\text{ш}} = 10^{-3} \frac{\kappa_p \kappa_{\text{ш}} \kappa_{\text{т}} g L_{\text{ш}} \Pi_{\text{ш}}}{3,6 \eta_{\text{пш}}}, \quad (9.62)$$

где κ_p – коэффициент, учитывающий расход щебня, $\kappa_p = 0,6$;

$\kappa_{\text{ш}}$ – коэффициент запаса, учитывающий подпор щебня под действием питателя, $\kappa_{\text{ш}} = 1,5$;

$\kappa_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий технологические характеристики смеси, $\kappa_{\text{т}} = 5$;

$L_{\text{ш}}$ – максимальный путь перемещения щебня вдоль шнеков по ширине машины, равный длине каждого шнека, м;

$\Pi_{\text{ш}}$ – производительность распределительного шнека, т/ч;

$\eta_{\text{пш}}$ – КПД привода шнеков.

Производительность шнека, т/ч,

$$\Pi_{\text{ш}} = 60 \kappa_{\text{п}} \kappa_3 \rho D_{\text{ш}}^2 t_{\text{ш}} n_{\text{ш}}, \quad (9.63)$$

где $\kappa_{\text{п}}$ – коэффициент снижения производительности из-за проскальзывания материала, $\kappa_{\text{п}} = 0,9$;

κ_3 – коэффициент заполнения сечения шнека, $\kappa_3 = 0,7$;

ρ – насыпная плотность щебня, т/м³;

$D_{\text{ш}}$ – диаметр шнека, $D_{\text{ш}} = 0,2 \dots 0,4$ м;

$t_{\text{ш}}$ – шаг шнека, $t_{\text{ш}} = D_{\text{ш}}$;

$n_{\text{ш}}$ – частота вращения шнека, $n_{\text{ш}} = 70 \dots 80$ мин⁻¹.

Для обеспечения согласованности работы распределительного шнека и транспортера-питателя должно выполняться соотношение

$$\Pi_{\text{ш}} = 1,3 \Pi_{\text{тп}}. \quad (9.64)$$

Расчет битумо-щебнераспределителя включает следующие действия:

1) определение основных параметров машины, в том числе массу и габариты машины, мощность силовой установки, рабочие и транспортные скорости машины;

2) подбор и определение характеристик технологического оборудования, в том числе вместимости цистерны для вяжущего и бункера для щебня, параметров агрегата распределения и перегрузочного устройства для щебня;

3) тепловой расчет агрегата подогрева и распределения вяжущего (битума или битумной эмульсии);

4) тяговый расчет;

5) баланс мощности;

6) расчет систем управления агрегатами и вспомогательным оборудованием. Исходными данными для расчета являются производительность поверхностной обработки и ширина полосы обрабатываемого дорожного покрытия.

При расчете самоходного БЩР и его агрегатов целесообразно воспользоваться ранее приведенными расчетами автогудронаторов и щебнераспределителей.

При синхронном совмещении вяжущего и щебня агрегаты БЩР должны отвечать ряду требований. Во-первых, необходимо согласовывать производительность агрегатов распределения битума и щебня, чтобы реализовать необходимое соотношение компонентов на обрабатываемой поверхности. Во-вторых, система управления должна обеспечить автоматическое регулирование технологических характеристик оборудования с учетом требуемой концентрации компонентов на поверхности обрабатываемого дорожного покрытия. В-третьих, необходима согласованность производительности перегрузочного и дозирочно-распределительного устройств для щебня. В-четвертых, следует учитывать необходимость изменения ширины полосы поверхностной обработки. В-пятых, целесообразно учитывать применение БЩР для различных технологических процессов поверхностной обработки и ремонта дорожной одежды.

Как было отмечено, поверхностную обработку дорожных покрытий с использованием битума и битумной эмульсии производят по различным технологиям в зависимости от состояния дорожной одежды, включая простую обработку поверхности с одно- или двукратной подсыпкой щебня или двойную поверхностную обработку. Конструктивные особенности многих БЩР позволяют производить полную поверхностную обработку дорожной одежды по приведенным технологиям, а также ее ремонт.

9.4 Машины для капитального ремонта асфальтобетонных покрытий

Как было отмечено, капитальный ремонт АБ покрытий производят без удаления и с удалением старых покрытий.

Технология ремонта без удаления старых покрытий незначительно отличается от рассмотренной ранее технологии устройства АБ покрытий. Напомним, что она включает очистку и подгрунтовку основания (в данном случае старого покрытия), укладку и уплотнение АБ смеси. Для ее реализации используют те же машины, которыми создают новые покрытия. Эти машины рассмотрены в разд. 4.

Технология ремонта с удалением старых покрытий имеет два варианта: без использования материала старого покрытия и с его повторным использованием.

Капитальный ремонт без использования материала старого покрытия включает срезание (разрушение) старого покрытия и его транспортирование в отвал. При ремонте автомобильных дорог образуется огромное количество (миллионы тонн только в Европе) старого асфальтобетонного гранулята, содержащего ценные каменные и вяжущие материалы. Между тем его большая часть вывозится в отвалы, занимая значительные площади и загрязняя окружающую среду. Поэтому технологии переработки изношенного покрытия с его повторным восстановлением или использованием (регенерацией) получают все

большее распространение. В зависимости от категории ремонтируемой дороги сфрезерованный гранулят повторно используют в качестве добавки для материала покрытия, основания или земляного полотна. Так, в США ежегодное повторное использование старого гранулята при ремонте дорог в качестве нижних слоев покрытий составляет около 9 млн т при его содержании в асфальтобетонной смеси более 20 мас. %.

Капитальный ремонт с повторным использованием материала старого покрытия выполняют по технологии горячего рециклинга.

В зависимости от места производства различают два метода горячего рециклинга:

- на асфальтобетонном заводе (*recycling in plant*);
- непосредственно на дороге (*recycling in place*).

Технологический процесс горячего рециклинга на заводе включает следующие операции:

- срезание старого покрытия холодной фрезой;
- сбор и погрузку сфрезерованного материала (гранулята) в автотранспортное средство;
- доставку автотранспортом гранулята на передвижной или стационарный асфальтобетонный завод;
- приготовление из старого гранулята и добавленных минеральных материалов и битума новой АБ смеси;
- доставку автотранспортом полученной горячей смеси на ремонтируемый участок;
- укладку и уплотнение горячей смеси по месту ремонта.

Соответственно, для реализации этого вида рециклинга необходим комплекс соответствующих машин и оборудования, состав которого зависит от объемов ремонтных работ. Для больших объемов работ используют следующие машины:

- дорожную (холодную) фрезу;
- автотранспорт;
- асфальтоукладчик;
- комплект асфальтовых катков.

Любой метод переработки начинают с разрушения старого асфальтобетона с помощью «холодной» или «горячей» фрезы. Термин «холодный» означает разработку асфальтобетона без его предварительного нагрева, а «горячий» – с нагревом, уменьшающим силы его сопротивления фрезерованию.

Для срезания старого асфальтобетона в основном используют самоходные холодные дорожные фрезы. Фреза состоит из следующих основных агрегатов:

- базового шасси;
- механизма фрезерования материала дорожной одежды;
- транспортирующей системы отфрезерованного материала (с подборочным конвейером или без него).

Самоходные фрезы классифицируют по следующим основным признакам:

1) по типоразмеру, м, – малые с шириной фрезерования до 1,0, средние – до 2,0 и большие – до 4,0;

2) по типу шасси – гусеничные и пневмоколесные;

3) по приводу фрезерного барабана – с механическим и гидравлическим приводом;

4) по наличию погрузочного конвейера – с конвейером (в передней или задней части машины) или без него;

5) по форме резцов – для создания шероховатости, для фрезерования асфальтобетонных и цементобетонных покрытий.

Самоходные фрезы представляют собой автоматизированные машины на пневмоколесном или гусеничном ходу с поперечным расположением фрезерного барабана.

В малых самоходных фрезах фрезерный барабан и одинарный (односекционный) конвейер располагают в задней части машины, имеющей в основном колесное ходовое оборудование (три или четыре колеса). В зависимости от условий работы конвейер может сбрасывать отфрезерованный материал в кузов самосвала, в валок (сбоку от продольной оси машины) или оставлять его на дорожном полотне.

В средних и больших фрезах фрезерный барабан располагают под машиной в ее средней части. Они имеют, как правило, гусеничное ходовое оборудование и фронтальный погрузочный конвейер (одинарный или составной, т. е. двухсекционный).

Основным рабочим органом является фрезерный барабан (рисунок 9.27), который имеет вид полого цилиндра с укрепленными на его наружной поверхности

резцедержателями. Для разрушения дорожных покрытий в держатели устанавливают круглые резцы из твердосплавных износостойких материалов.

С учетом необходимости фрезерования в стесненных условиях (вплотную к бордюрным камням, водосточным колодцам или другим препятствиям) используют различные конструктивные решения расположения фрезерного барабана.

У колесных машин малого типоразмера задние правые ко-

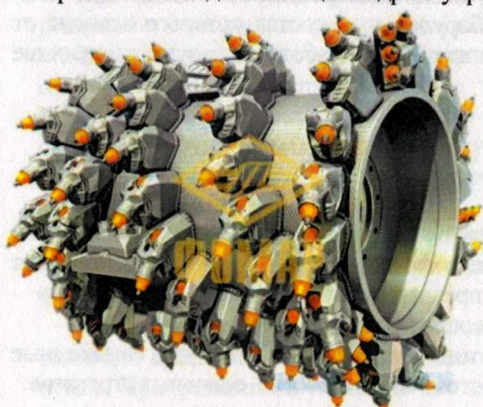


Рисунок 9.27 – Фрезерный барабан

леса сдвигают вперед и внутрь машины, размещая их перед барабаном. Колесные машины большого типоразмера комплектуют фрезерными бараба-

нами с изменяемой шириной фрезерования или барабанами, имеющими возможность выдвигаться за габариты машины на 400–500 мм в любую из сторон (например, в модели Komatsu GC380F-2).

В гусеничных машинах фрезерный барабан выступает за габарит шасси (в основном с правой стороны).

В зависимости от типоразмера фрезы и назначения барабан может быть сплошным или разъемным, состоящим из двух или четырех сегментов, скрепленных болтами. Конструкция барабана обеспечивает возможность ступенчатого изменения ширины фрезерования, а также оперативную замену неработоспособных сегментов (рисунок 9.28). Дополнительные секции имеют фиксированную ширину, что позволяет увеличить общую ширину фрезерования на величину, кратную ширине одной секции. (Например, фреза ДС-197 «Брянского Арсенала» обеспечивает фрезерование полосы шириной 0,25; 0,5; 0,75 и 1,0 м). Кожух барабана спереди и сзади снабжен гидрофицированными щитами, играющими роль дробильных щек. Размером частиц отфрезерованного материала можно управлять, изменяя расстояние от щитов до фрезы с помощью гидроцилиндров.

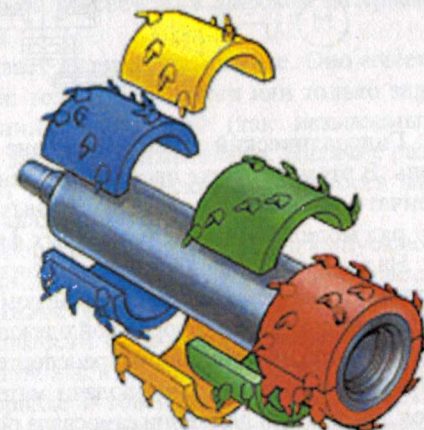


Рисунок 9.28 – Фрезерный барабан с изменяемой шириной фрезерования

Конфигурация резца, состав сплава его наконечника и других элементов зависят от материала разрушаемого покрытия, типоразмера рабочего органа и условий эксплуатации.

Для оперативной замены режущих элементов дорожные фрезы, как правило, оснащают вспомогательным оборудованием (в их числе пневматический съемник режущих элементов, гидроустройство для проворачивания барабана и др.).

Привод барабана может быть механическим или гидравлическим.

Фрезы среднего и большого типоразмера имеют в основном механический привод барабана с передачей крутящего момента от двигателя через муфту сцепления, клиноременную передачу, коробку передач и редуктор (вальный или планетарный). На средних фрезах используют конические редукторы, на больших – планетарные, встроенные в барабан. В этом случае устанавливают три-четыре скорости вращения барабана. Приводной ремень нивелирует пиковые нагрузки и исключает повреждения элементов привода. Таким приводом, например, оснащают машины фирм «Wirtgen», «Terex СМІ» и др. Имеются

сведения, что потери мощности этого привода на 40 % меньше, чем гидростатического. На рисунке 9.29 представлена кинематическая схема одного из вариантов механического привода барабана фрезы.

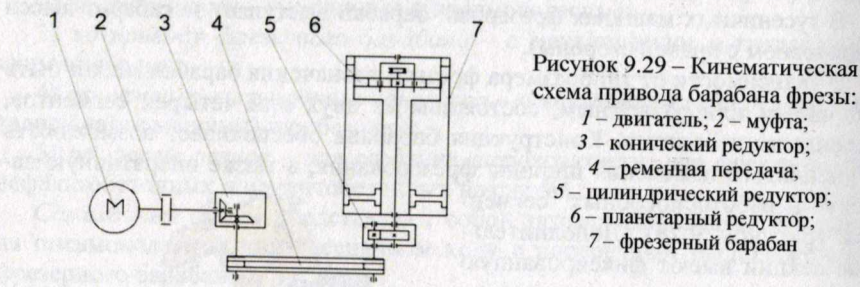
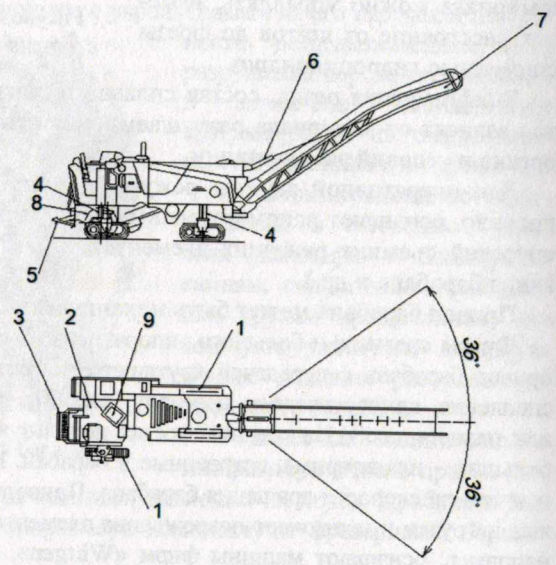


Рисунок 9.29 – Кинематическая схема привода барабана фрезы:
1 – двигатель; 2 – муфта;
3 – конический редуктор;
4 – ременная передача;
5 – цилиндрический редуктор;
6 – планетарный редуктор;
7 – фрезерный барабан

Гидравлический привод барабана включает гидронасос и гидродвигатель. В этом варианте частоту вращения барабана можно изменять бесступенчато, что имеет немало известных достоинств. Подобный привод имеют ряд моделей малых самоходных фрез на пневмоколесном ходу.

На рисунке 9.30 приведен общий вид дорожной фрезы на гусеничном ходу с фронтальным погрузочным конвейером. Фрезерный барабан (на рисунке 9.30 не виден) срезает слой дорожной одежды заданной толщины, затем отфрезерованный материал с помощью транспортера 7 подают в транспортное средство с возможностью отклонения подачи материала от продольной оси машины на угол 36°, т. е. при движении самосвала по обочине дороги.

Рисунок 9.30 – Дорожная фреза:
1 – гусеничное ходовое оборудование; 2 – силовая установка;
3 – зачистный щит; 4 – стойка гусеничной тележки; 5 – сцепное устройство; 6 – гидроцилиндр управления положением транспортера; 7 – транспортер;
8 – рабочее оборудование; 9 – пульт управления



Ходовые системы фрез имеют гидравлический привод с автоматически регулируемой системой управления и нагрузки. В системах с пневмоколесными движителями каждое колесо имеет независимую подвеску. Благодаря этому фреза сохраняет заданный уклон независимо от профиля обрабатываемого полотна. Все ведущие колеса выполнены по схеме «мотор-колесо» со встроенным ступичным планетарным редуктором, что создает возможность эффективного маневрирования в стесненных условиях. Гусеничная ходовая система также имеет гидростатический привод – индивидуальный для каждой гусеницы, которых может быть три или четыре в зависимости от типоразмера фрезы. Бесступенчатое изменение скорости обеспечено в широком интервале рабочих скоростей – от 0 до 50–60 м/мин.

Высокую маневренность обеспечивает рулевое управление. Оно имеет, как правило, четыре режима поворота: только передними или только задними движителями; скоординированный и боковой (так называемый «краб») – одновременно передними и задними движителями. Наличие различных режимов поворота расширяет технологические возможности машины, в том числе в стесненных условиях эксплуатации.

Ведущие производители из США, Германии и других стран выпускают машины, оборудованные электронными системами контроля и управления и обладающие широкими возможностями по вскрытию цементобетонных и других покрытий. В зависимости от мощности силовой установки они способны срезать слои дорожной одежды толщиной до 10–30 см с рабочими скоростями в интервале 4–108 м/мин при ширине резания от 0,3 до 3,8 м. Для этого дорожные фрезы оснащают барабанами различной ширины. Например, фирма Wirtgen выпускает оборудование с режущими барабанами восьми типоразмеров по рабочей ширине – от 0,3 до 2,0 м при глубине резания до 30 см. В зависимости от типоразмера диаметр барабана составляет 930–1080 мм при линейном расстоянии между резцами 15 мм (при количестве резцов от 100 до 188 штук). При необходимости изменения ширины резания за счет взаимозаменяемости режущих барабанов их замена на машине может быть проведена всего за два-три часа. Оптимальный баланс мощности обеспечивает высокую производительность и экономичность при выполнении ремонтных работ.

Их оснащают электронным оборудованием, увеличивающим производительность, в том числе электронными датчиками и системой контроля и регулирования поперечного уклона фрезерования. Датчики способны регистрировать опорные точки на расстоянии от 300 до 1400 мм по вертикали под собой. Положение фрезерного барабана по высоте относительно уровня грунта постоянно отслеживают обоими датчиками и центральным электронным блоком управления. Кроме того, блок управления дорожной фрезы отслеживает и регулирует работу всех основных систем машины, включая ходовую часть, рулевое управление, привод рабочих органов и др.

В таблице 9.14 приведены технические характеристики самоходных дорожных фрез для вскрытия покрытий ряда известных фирм. Как видно из таблицы 9.14, машины на гусеничном ходу применяют для больших объемов ремонтных работ с шириной обрабатываемой полосы от 1,0 до 4,0 м, а на пневмоколесном – для малых объемов работ с шириной от 0,3 до 1,0 м соответственно. В конструкциях этих машин использованы неоднократно упоминавшиеся ранее достоинства гусеничного и колесного оборудования. Колесные фрезы имеют меньшую массу и высокую транспортability, что позволяет оперативно перемещать их с одного участка на другой. Гусеничные фрезы обладают большей устойчивостью, что обеспечивает высокую точность технологических операций при ремонте широких полос дорог, а также на крутых склонах.

Таблица 9.14 – Технические характеристики дорожных фрез для вскрытия покрытий

Модель	Ширина резания, м	Глубина резания, см	Двигатель	Мощность, л. с.	Рабочая скорость, м/мин	Масса, т
«Caterpillar» (США)						
PM-465	0,2	30,5	Г	500	36,0	26,3
PM-565B	0,21	30,5	Г	625	39,6	38,6
«CMI Terex» (США)						
PR-100	0,36	30,5	К	100	108	8,6
PR-160	0,6	30,5	К	152	108	9,1
PR-205	0,76	30,5	К	200	108	9,7
PR-600	2,18	35,6	Г	600	47,4	38,1
PR-1200	3,81	38,1	Г	1200	79,2	72,8
«Дупарас» (Швеция)						
PL 350S	0,36	10,2	К	60	24,6	2,8
PL 2100S	2,11	32,0	Г	600	39,3	33,9
«Roadtec» (США)						
RX-10	0,31	15,2	К	108	28,5	7,2
RX-20B	1,0	25,4	К	230	79,2	14,7
RX-50B	2,41	30,5	Г	600	48	34
RX-70B	3,81	20,3	Г	800	36	50
«Wirtgen» (Германия)						
W 350	0,35	10,2	К	47	19,8	4,4
W 500	0,50	15,2	К	105	19,8	7,4
W 1000 R	1,02	25,4	К	199	28,8	17,6
W 1900	2,18	30,5	Г	430	34,8	24,9
W 2200	2,21	35,6	Г	860	82,5	46,2
W 2200/3,8	3,81	35,6	Г	860	54	50,2

Примечание – Г – гусеничный, К – колесный.

Для небольших объемов работ используют следующий комплект машин:

- терморемонтер, оборудованный дорожной фрезой и блоком разогревателей;

- погрузочно-разгрузочное оборудование;
- автотранспорт;
- асфальтоукладчик;
- набор асфальтовых катков.

Приведенный состав комплекта для малых работ включает терморемонтер, обеспечивающий разогрев и срезание старого покрытия. В качестве примера можно привести терморемонтер, конструктивная схема которого представлена на рисунке 9.31. Это самоходная однопроходная машина, которая содержит дизельный двигатель 3, барабанную фрезу 10 с гидроприводом 2, блок нагревательных элементов 7, а также механизм 5 перевода блока 7 из рабочего в транспортное положение.

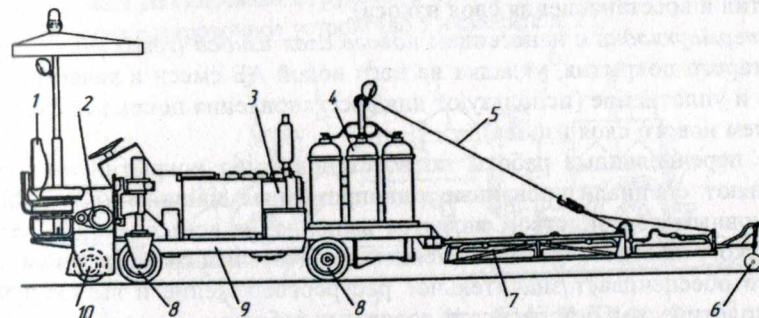


Рисунок 9.31 – Конструктивная схема терморемонтера:

- 1 – место оператора; 2 – привод фрезы; 3 – двигатель; 4 – резервуар для сжиженного газа; 5 – подъемное устройство; 6 – поддерживающее колесо; 7 – нагревательный блок; 8 – ходовое колесо; 9 – рама; 10 – фреза

Нагревательное устройство включает резервуар для газа 4, систему газопроводов, нагревательный блок из инфракрасных излучателей (горелок), регулирующую аппаратуру и др. Для обеспечения устойчивости нагревательных элементов предусматривают две поддерживающие опоры 6 с гидроцилиндрами управления их положением.

Однако технология горячего рециклинга на заводе имеет недостатки, к которым следует отнести значительные транспортные расходы, возрастающие с увеличением расстояния от завода до объекта производства работ.

Этих недостатков лишена технология горячего рециклинга на дороге, которую производят при помощи комплекса следующих самоходных машин:

- разогревателя;
- ремиксера;
- комплекта катков.

Эта технология объединяет несколько методов, в их числе:

1) *термопрофилирование (reform)* – разогрев и срезание старого покрытия, перемешивание полученного гранулята в машине, его укладка, разравнивание и уплотнение на дороге (используют для устранения неровностей покрытий);

2) *термогомогенизация (repave)* – разогрев и срезание старого покрытия, перемешивание полученного гранулята в машине, его укладка и разравнивание на дороге, укладка на него и уплотнение новой АБ смеси (используют для усиления покрытия и создания нового слоя износа);

3) *термосмешение* и укладка смеси с добавлением новых компонентов (*remix*) – разогрев старого покрытия, распределение горячего щебня и битума по поверхности старого покрытия, повторный разогрев и срезание покрытия с нанесенным слоем, перемешивание полученного гранулята в машине, его укладка и уплотнение на дороге (используют для усиления покрытия и восстановления слоя износа);

4) *термоукладка с нанесением нового слоя износа (remix plus)* – разогрев старого покрытия, укладка на него новой АБ смеси в качестве слоя износа и уплотнение (используют для восстановления покрытия с формированием нового слоя износа).

Все перечисленные работы по восстановлению покрытий на дороге выполняют специализированные однопроходные машины (*ремиксеры*). Их основным достоинством является выполнение всех операций технологического процесса (за исключением окончательного уплотнения смеси), что обеспечивает значительное ресурсосбережение и высокий уровень экологической безопасности дорожных работ.

Ремиксер представляет собой самоходную однопроходную машину, оснащенную дизельным двигателем и пневмоколесным шасси, газовым оборудованием для нагрева покрытия, гидравлической системой управления рабочими органами и другими агрегатами, а также комп-лектом рабочего оборудования.

Ремиксеры разделяют по следующим основным признакам:

1) *по назначению* – для заделки трещин и открытых швов, для восстановления покрытий на малых и больших площадях;

2) *по типоразмеру* – малые, средние и большие;

3) *по виду подогрева* – инфракрасными излучателями или горячим (до 600 °С) воздухом.

Для выполнения различных методов горячего рециклинга при капитальном ремонте машина имеет следующие рабочие органы:

– нагреватель для размягчения старых покрытий;

– приемный бункер для новой горячей АБ смеси с транспортерами ее подачи в смеситель;

– емкость для вяжущего (битума и др.) с системой распределения;

– фрезу для срезания старого покрытия с системой подачи старого гранулята в смеситель;

– смесительное оборудование для перемешивания старого гранулята и новых компонентов;

– распределительный шнек, обеспечивающий укладку и разравнивание смеси на дороге;

– уплотнительный орган, состоящий из вибробруса и выглаживающей плиты, который обеспечивает профилирование и предварительное уплотнение смеси на дороге;

– автоматизированную систему контроля технологического процесса и управления рабочими органами и агрегатами машины.

На рисунке 9.32 представлена конструктивная схема самоходного ремиксера. Восстановление покрытий по методу «*remix*» производят следующим образом. Свежую смесь из самосвала загружают в бункер 1, далее транспортерами 2 перемещают через дозирующее устройство 3 в смеситель 11.

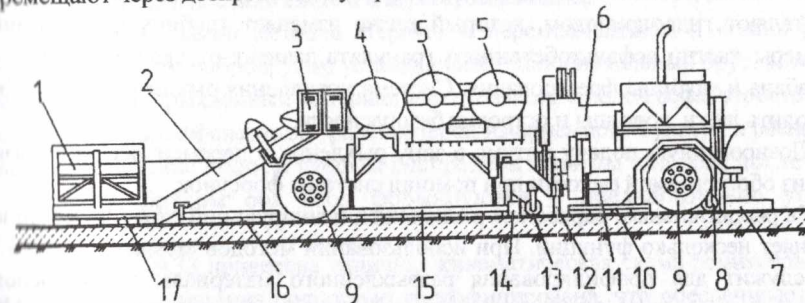


Рисунок 9.32 – Конструктивная схема ремиксера для выполнения горячего рециклинга:

- 1 – приемный бункер с транспортирующим устройством для новой смеси;
2 – система транспортеров; 3 – дозирующее устройство; 4 – емкость для битума;
5 – резервуар для сжиженного газа; 6 – двигатель; 7 – трамбующий брус и выглаживающая плита; 8 – второй распределительный шнек; 9 – ходовое колесо; 10 – четвертый нагревательный блок; 11 – смеситель; 12 – планирующий отвал; 13 – первый шнековый распределительный блок; 14 – рыхлитель; 15 – третий нагревательный блок; 16 – второй нагревательный блок; 17 – первый нагревательный блок

Одновременно происходит разогрев при помощи нагревательных блоков 16, 15 и 14 старого покрытия, которое затем разрыхляют рыхлителем 14, а полученный гранулят перемещают в смеситель 11. После перемешивания новый материал распределяют по подогретому (блоком 10) ремонтному основанию первым шнеком 13 и профилируют отвалом 12. Затем смесь обрабатывают вибробрусом и выглаживающей плитой 7 для предварительного уплотнения. После этого нанесенный слой окончательно уплотняют комплектом катков.

Оборудование для разогрева старого асфальтобетона включает емкости для горючего газа и систему газовых горелок инфракрасного излучения, установленных на специальном шасси или непосредственно перед рыхлителем ремиксера. Оно обеспечивает разогрев старого покрытия до температуры 140–180 °С на поверхности, а также обогрев узлов и агрегатов машины для предотвращения остывания смеси в машине. Горелки объединяют в четыре блока, каждый из которых состоит из секций с независимой подачей газа. Его оснащают устройствами для регулирования мощности излучения за счет изменения давления газа. Кроме того, высоту установки каждого блока можно регулировать в пределах от 50 до 250 мм над обогреваемой поверхностью.

Для разрыхления и срезания разогретого покрытия ремиксер оборудуют одним или несколькими (для бесступенчатой регулировки ширины фрезерования) фрезерными барабанами, на которых по винтовой линии установлены резцы, что позволяет одновременно с разрыхлением производить перемешивание смеси, добиваясь ее однородности. Вращение фрезерного барабана осуществляют гидроприводом, который также изменяет глубину фрезерования. Размеры частиц асфальтобетонного гранулята зависят от скорости вращения барабана и глубины фрезерования. Система управления рыхлителем позволяет обходить люки, колодцы и островки безопасности.

Дозированную подачу битума в зону рыхления и перемешивания производят из обогреваемой емкости при помощи системы форсунок.

За рыхлительным барабаном расположен планирующий отвал, который выполняет несколько функций. При использовании методов «reshape» и «gerave» он служит для профилирования разрыхленного материала, а при использовании метода «gemix» играет роль щита шнека, собирающего остатки материала в смеситель принудительного действия.

Принудительное перемешивание материала старого покрытия, нового материала и вяжущего осуществляют в двухвальном смесителе, имеющем вращающиеся в противоположные стороны валы, лопасти которых могут изменять свое положение относительно друг друга для оптимизации процесса перемешивания. При необходимости дополнительного добавления битума в смесь используют систему форсунок, которой оборудован смеситель. Смеситель обогревают инфракрасными излучателями.

Новую АБ смесь загружают в приемный бункер, откуда наклонным транспортером-питателем подают в бункер дозатора, оборудованный шибром для дозирования, а затем горизонтальным транспортером – в смеситель. Скорость подачи смеси транспортерами зависит от скорости движения ремиксера.

Укладываемая смесь (в виде валика) выходит из смесителя и равномерно распределяется основным шнеком по поверхности переработанного и разров-

ненного покрытия. Как правило, его дополнительно прогревают инфракрасными излучателями для обеспечения максимального сцепления слоев, достигаемого только при укладке горячего материала на горячее основание.

Точность укладки обеспечивает укладочный брус вибрационного действия, конструкция которого позволяет формировать заданный поперечный профиль укладываемого слоя, а также регулировать ширину укладки, согласуя ее с шириной рыхлительного барабана. Наличие системы подогрева и вибробруса позволяет достичь высокого качества укладки и степени предварительного уплотнения. Управлять положением укладочного бруса можно как вручную, так и автоматически.

Система контроля и управления обеспечивает согласование операций технологического процесса горячего рециклинга (частоту вращения фрезерного барабана, дозировку битума и свежей асфальтобетонной смеси) со скоростью движения ремиксера, управление укладочным брусом, а также функции контроля работы и диагностики систем и агрегатов машины.

При использовании методов «gerave» с перемешиванием и «gemix plus» перед укладочным вибробрусом устанавливают дополнительный брус, который разравнивает разрыхленный материал или его смесь с новой асфальтобетонной смесью, подаваемой системой транспортеров из приемного бункера и распределяемой по ширине полосы вторым распределительным шнеком, после чего укладочным брусом оба слоя формируются и предварительно уплотняются.

На рисунке 9.33 приведена типичная кинематическая схема ремиксера. Как видно из схемы, машина полностью гидрофицирована, что обеспечивает бесступенчатое изменение скорости перемещения машины и транспортеров, частоты вращения фрезерного рыхлителя и смесителя, а также частоты вибрации трамбующего бруса и выглаживающей виброплиты.

Окончательное уплотнение осуществляется по традиционной технологии гладковальцевыми виброкатками и пневмоколесными катками статического действия.

Ведущие производители машин для горячего восстановления АБ покрытий выпускают ремиксеры различных типоразмеров, предназначенные для выполнения дорожных работ различного масштаба. В таблицах 9.15 и 9.16 приведены основные характеристики ремиксеров, которые производят фирмы «Wirtgen» (Германия) и «Kalottikone» (Финляндия). Эти машины полностью гидрофицированы и имеют системы компьютерного контроля и управления рабочими органами и агрегатами, в том числе с использованием спутниковой космической навигации.

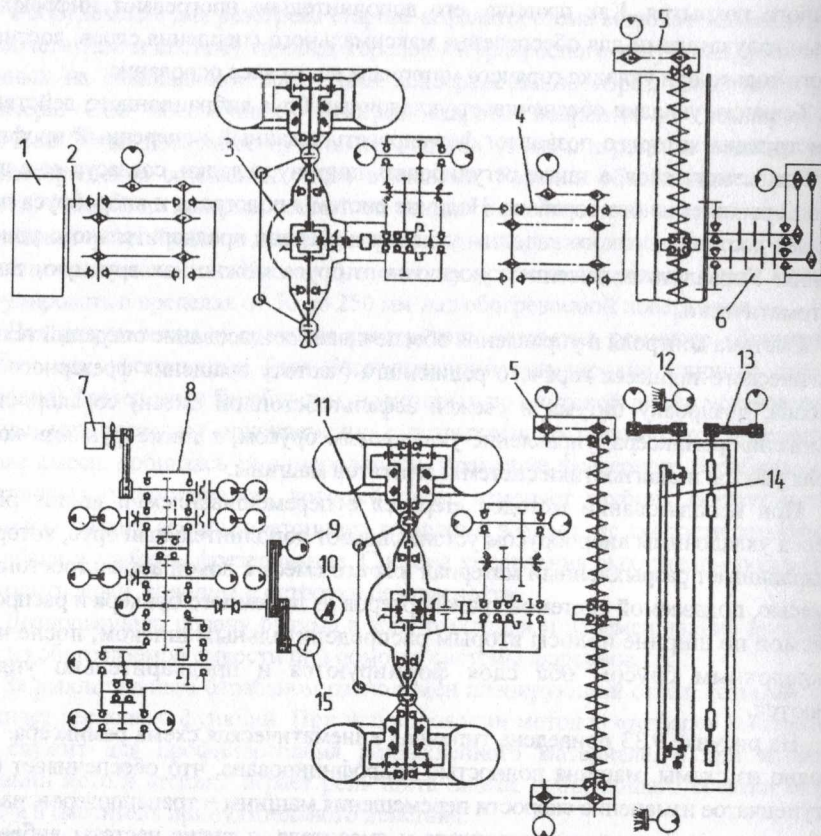


Рисунок 9.33 – Кинематическая схема ремиксера:

- 1 – приемный бункер; 2 – наклонный транспортер-питатель; 3 – передний мост;
 4 – горизонтальный транспортер; 5 – рыхлитель; 6 – смеситель; 7 – калорифер;
 8 – редуктор привода гидронасосов; 9 – компрессор; 10 – двигатель; 11 – задний мост;
 12 – привод щеток; 13 – виброплита; 14 – трамбующий брус; 15 – генератор

Таблица 9.15 – Технические характеристики ремиксеров фирмы Wirtgen

Параметр	Модель		
	300/600	2500	4500
Мощность двигателя, кВт	37	118	182
Ширина фрезерования, м	0,3/0,6	1,5–2,5	3,0–4,5
Максимальная глубина фрезерования, мм	40	60	60
Тепловая мощность разогревателей, Мкал/ч	263	–	1900
Масса, т	3,8/4,6	16,1	48,0

Таблица 9.16 – Технические характеристики ремиксеров фирмы Road Mix

Параметр	Модель	
	KM 2000 RS	KM 3000 RS
Мощность двигателя, кВт	600	800
Ширина фрезерования, м	2,9–4,6	2,9–4,5
Максимальная глубина фрезерования, мм	80	280
Объем емкости для вяжущего, м ³	14,0	14,8
Производительность смесителя, т/ч	150	400
Рабочая скорость, м/мин	0–10	0–16
Транспортная скорость, км/ч	5	5
Производительность, м ² /ч	600–1200	
Рабочая масса, т	7,0	8,3

Как видно из таблицы 9.15, фирма «Wirtgen» выпускает ремиксеры трех типоразмеров. Ремиксер 300/600 является вспомогательной машиной и предназначен для заделки крупных трещин и открытых швов между уложенными полосами АБ покрытий. Он имеет две фиксированные ширины рабочей зоны: 0,3 и 0,6 м. Ремиксер 2500 является основной машиной комплекса для восстановления покрытий на средних по масштабу работ площадях и располагает возможностью плавного изменения ширины в диапазоне от 1,5 до 2,5 м. И наконец, самая производительная машина этого типоразмерного ряда – ремиксер 4500 – предназначена для восстановления дорожных покрытий на больших участках и площадях. Ширину обрабатываемой полосы также можно плавно регулировать при помощи гидравлического привода в пределах от 3,0 до 4,5 м.

Ремиксер модели KM 3000 RS имеет расширенные технологические возможности за счет большой глубины рыхления (до 280 мм), что позволяет осуществлять капитальный ремонт покрытий с применением технологии холодного рециклинга, выполняя фрезерование не только покрытия, но и основания.

Как правило, в комплексы машин для горячего рециклинга входят энергосберегающие разогреватели. Разогрев ремонтируемого асфальтобетонного покрытия «Wirtgen» производит разогреватель модели HM 4500, а «Kaltitkone» – разогреватель модели Ecoheater.

Например, разогреватель HM 4500 (рабочая масса 20 т) является самоходной пневмоколенной машиной, содержащей цистерну со сжиженным газом (объемом 6000 л), газопроводы, блоки газовых горелок инфракрасного излучения (тепловой мощностью до 2,7 МВт) с системой управления интенсивностью излучения и положением горелок. Он обеспечивает разогрев покрытия шириной до 4,7 м и площадью до 40 м².

Помимо разогрева покрытий при помощи инфракрасного излучения, применяют обогрев горячим воздухом. Новую технологию разогрева покрытия в процессе горячего рециклинга разработала фирма «Martech» (Канада), которая выпускает комплект машин модели AR 2000. Ширину обрабатываемой полосы можно изменять в диапазоне 3,3–4,0 м при глубине разогрева до 50 мм и скорости движения комплекта 5–7 м/мин. Разогрев покрытия производят нагретым до 600 °С сжатым воздухом.

Подогрев воздуха для проведения операции разогрева покрытия производят сжиганием газа или дизельного топлива. Разогревающее устройство в виде герметического кожуха плотно прижимают к поверхности покрытия. В пространство между покрытием и разогревателем с одной стороны нагнетают компрессором горячий воздух, а с другой – откачивают вакуумным насосом. Для повышения эффекта прогревания слоя асфальтобетона в покрытии просверливают отверстия. Откачанный горячий воздух снова поступает в компрессор, т. е. циркулирует по замкнутому контуру. Как считают разработчики, эта технология разогрева способствует многократному снижению потерь тепловой энергии по сравнению с применением горелок инфракрасного излучения и полностью исключает выгорание битума и пережог смеси, а также выделение выбросов газа, дыма и пыли в атмосферу.

Для того чтобы оценить роль и эффективность предварительного разогрева асфальтобетона перед фрезерованием, достаточно сопоставить сопротивления его рыхлению в холодном и разогретом состоянии. Итак, коэффициент удельного сопротивления фрезерованию k_p составляет:

- для холодного асфальтобетона – 4–10 МПа;
- разогретого – 0,05–0,06 МПа.

При проектировании ремиксеров основными расчетами являются тяговый и энергетический. К основным характеристикам ремиксеров относят мощность силовой установки и массу машины, ширину и толщину срезаемого и наращиваемого слоя покрытия, вместимости емкости для вяжущего и бункера для смеси, рабочие и транспортные скорости. Расчеты включают определение параметров машины и отдельных рабочих органов, выполнение тягового расчета в рабочем и транспортном режимах, баланс мощности, расчеты гидравлической системы и подбор гидрооборудования для управления рабочими органами и механизмами машины.

Тяговый расчет проводят на основе анализа уравнения тягового баланса. Для ремиксера, оснащенного комплектом рабочих органов для восстановления АБ покрытий, общая сила сопротивления при его работе включает следующие сопротивления:

- перемещению машины $W_{пер}$;
- резанию разогретого асфальтобетона $W_{ф}$;

- планированию смеси отвалом $W_{пл}$;
 - трению рабочих органов по укладываемой смеси $W_{тр}$;
 - перемещению призмы волочения перед рабочими органами $W_{пр}$.
- Перечисленные силы можно найти из следующих выражений:

1) **сопротивление перемещению ремиксера, Н,**

$$W_{пер} = (f_1 + i)(G_p + G_{см}), \quad (9.65)$$

где G_p – сила тяжести ремиксера, Н;

$G_{см}$ – сила тяжести смеси в бункере машины;

f_1 – коэффициент сопротивления перемещению машины, $f_1 = 0,06 \dots 0,12$;

i – уклон пути, $i = 0,03 \dots 0,07$;

2) **сопротивление разогретого асфальтобетона фрезерованию, Н,**

$$W_{ф} = 10^{-6} k_p b_{ф} h_{ф}, \quad (9.66)$$

где k_p – удельное сопротивление фрезерованию разогретого асфальтобетона, $k_p = 0,05 \dots 0,06$ МПа;

$b_{ф}$ – ширина фрезерования, м;

$h_{ф}$ – глубина фрезерования, м;

3) **сопротивление планированию отвалом, Н,**

$$W_{пл} = 10^{-3} k_{л} B_{от}, \quad (9.67)$$

где $k_{л}$ – удельное линейное сопротивление, Н/м, $k_{л} = 10 \dots 20$ кН/м;

$B_{от}$ – длина отвала, м;

4) **сопротивление сил трения рабочих органов по смеси, Н,**

$$W_{тр} = \mu_1 (G_{от} + G_{бр} + G_{пл}), \quad (9.68)$$

где μ_1 – коэффициент трения скольжения рабочих органов по смеси, $\mu_1 = 0,5 \dots 0,6$;

$G_{от}$, $G_{бр}$, $G_{пл}$ – силы тяжести отвала, бруса и плиты, Н;

5) **сопротивление перемещению призмы волочения перед рабочими органами, Н,**

$$W_{пр} = \mu_2 (G_{пр}^{от} + G_{пр}^{бр} + G_{пр}^{пл}), \quad (9.69)$$

где μ_2 – коэффициент внутреннего трения смеси, $\mu_2 = 0,7 \dots 0,9$;

$G_{пр}^{от}$, $G_{пр}^{бр}$, $G_{пр}^{пл}$ – силы тяжести смеси в призмах волочения перед отвалом, брусом и плитой.

Силовая установка должна развивать силу тяги T , достаточную для преодоления всех сил сопротивления, возникающих при работе машины,

$$T \geq W, \quad (9.70)$$

где $W = W_{\text{пер}} + W_{\text{ф}} + W_{\text{пл}} + W_{\text{тр}} + W_{\text{пр}}$.

Зная мощность двигателя, можно определить силу тяги из выражения

$$T = \frac{\eta_{\text{тр}} u_{\text{тр}} N_{\text{дв}}}{n_{\text{кол}} \omega_{\text{д}} r_{\text{кол}}}, \quad (9.71)$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии ремиксера;

$u_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии;

$N_{\text{дв}}$ – мощность двигателя, Вт;

$n_{\text{кол}}$ – число ведущих колес;

$\omega_{\text{д}}$ – угловая скорость вращения вала двигателя, с^{-1} ;

$r_{\text{кол}}$ – радиус ходового колеса, м.

Баланс мощности ремиксера. При проверке или оценке мощности силовой установки машины следует определить энергопотребление всех агрегатов и рабочих органов ремиксера в рабочем режиме. В общем случае мощность силовой установки расходуют на привод следующих механизмов:

- механизма передвижения в рабочем режиме;
- смесителя;
- ленточных транспортеров-питателей;
- фрезерного барабана;
- распределительного шнека;
- трамбующего бруса;
- выглаживающей плиты;
- вспомогательных механизмов.

Для определения энергопотребления отдельных механизмов, т. е. их мощности используют следующие выражения:

1) для механизма перемещения ремиксера, кВт,

$$N_{\text{пер}} = 10^{-3} \frac{W v_{\text{р}}}{\eta_{\text{т}}}, \quad (9.72)$$

где $v_{\text{р}}$ – скорость рабочего хода, м/с;

$\eta_{\text{т}}$ – КПД трансмиссии ремиксера;

2) для привода смесителя, кВт,

$$N_{\text{см}} = \kappa_{\text{д}} g Q_{\text{см}}, \quad (9.73)$$

где $\kappa_{\text{д}}$ – коэффициент динамичности при пуске смесителя под нагрузкой,

$$\kappa_{\text{д}} = 2,0 \dots 2,5;$$

$Q_{\text{см}}$ – вместимость смесителя, т,

$$Q_{\text{см}} = \frac{P_{\text{см}} t_{\text{см}}}{60}, \quad (9.74)$$

$P_{\text{см}}$ – производительность смесителя, т/ч,

$$P_{\text{см}} = 1,6 P_{\text{фр}}, \quad (9.75)$$

$P_{\text{фр}}$ – производительность ремиксера по фрезерованию, т/ч;

$t_{\text{см}}$ – время нахождения смеси в смесителе, мин;

3) для привода ленточных транспортеров-питателей (наклонного и горизонтального), кВт,

$$N_{\text{лк}} = 10^{-3} \frac{P_{\text{лк}} g [\kappa_{\text{ск}} (L_{\text{ну}} + L_{\text{гу}}) + H_{\text{лк}}]}{3,6 \eta_{\text{пк}}}, \quad (9.76)$$

где $P_{\text{лк}}$ – производительность конвейера по укладке, т/ч;

$\kappa_{\text{ск}}$ – коэффициент сопротивления конвейера, $\kappa_{\text{ск}} = 2 \dots 3$;

$L_{\text{ну}}, L_{\text{гу}}, H_{\text{лк}}$ – длина наклонного и горизонтального участков, а также высота конвейера, м;

$\eta_{\text{пк}}$ – КПД привода конвейера;

4) для привода фрезы, кВт,

$$N_{\text{фр}} = 10^{-3} \frac{W_{\text{фр}} \omega_{\text{фр}} R_{\text{фр}}}{\eta_{\text{пф}}}, \quad (9.77)$$

где $\omega_{\text{фр}}$ – угловая скорость вращения фрезерного барабана, $\omega_{\text{фр}} \leq 0,15$ рад/с;

$R_{\text{фр}}$ – радиус фрезы по режущим зубьям, м;

$\eta_{\text{пф}}$ – КПД привода фрезы.

При необходимости можно проверить мощность привода фрезы по формуле

$$N_{\text{фр}} = N_{\text{фр}}^{\text{уд}} b_{\text{фр}} h_{\text{фр}} v_{\text{фр}}, \quad (9.78)$$

где $N_{\text{фр}}^{\text{уд}}$ – удельная мощность на фрезерование разогретого асфальтобетона,

$$N_{\text{фр}}^{\text{уд}} = 3600 \dots 4700 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3;$$

$v_{\text{фр}}$ – линейная скорость зуба фрезы, м/с;

5) для привода распределительного шнека, кВт,

$$N_{ш} = 10^{-3} \frac{\kappa_{см} \kappa_{ш} g z_{ш} L_{ш} \Pi_{ш}}{3,6 \eta_{ш}}, \quad (9.79)$$

где $\kappa_{см}$ – коэффициент, учитывающий напор смеси при движении ремиксера, $\kappa_{см} = 3$;

$\kappa_{ш}$ – коэффициент сопротивления при работе шнека, $\kappa_{ш} = 4 \dots 5$;

$z_{ш}$ – число шнеков;

$L_{ш}$ – путь перемещения смеси вдоль шнеков по ширине (для двух шнеков $L_{ш} = B$);

$\eta_{ш}$ – КПД привода шнека, $\eta_{ш} = 0,9$;

6) для привода трамбующего бруса, кВт,

$$N_{бр} = N_{бр}^{уд} b_{бр}, \quad (9.80)$$

где $N_{бр}^{уд}$ – удельная мощность на привод трамбующего бруса, $N_{бр}^{уд} = 0,4 \dots 0,6$ кВт/м;

$b_{бр}$ – длина трамбующего бруса, равная ширине укладки слоя, м;

7) для привода вибрационной плиты, кВт,

$$N_{пл} = z_{вв} N_{вв}, \quad (9.81)$$

где $z_{вв}$ – число вибровозбудителей на плите;

$N_{вв}$ – мощность привода одного вибровозбудителя с дебалансом, равным

1,5–2,0 мм, $N_{вв} = 1,0 \dots 1,5$ кВт;

8) для привода вспомогательных механизмов

$$N_{всп} = 1,5 \dots 2,0 \text{ кВт}. \quad (9.82)$$

Таким образом, общая мощность, затрачиваемая на рабочий процесс,

$$N = N_{пер} + N_{см} + N_{лк} + N_{фр} + n_{ш} N_{ш} + n_{бр} N_{бр} + n_{пл} N_{пл} + N_{вс}, \quad (9.83)$$

где $n_{ш}$, $n_{бр}$, $n_{пл}$ – число шнеков, брусьев и плит соответственно.

При проектировании разогревателей асфальтобетона следует произвести ряд расчетов, в том числе определение основных размеров разогревателя, тепловой расчет оборудования, тяговый расчет самоходной машины, а также баланс мощности.

Тепловой расчет асфальторазагревателей включает определение характеристик системы разогрева для установления необходимого расхода топлива или электрической энергии, в том числе времени нагрева до заданной температуры, плотности теплового потока и скорости перемещения разогревателя.

К исходным данным относятся требуемая производительность машины, толщина разогреваемого слоя, температуры начала и окончания разогрева покрытия и др.

Основные размеры разогревателя устанавливают конструктивно, чтобы ширина блока нагревателей не превышала поперечный габарит базового шасси.

В качестве нагревателей, как правило, используют газовые горелки инфракрасного излучения, которые имеют большой коэффициент выхода лучистой энергии (50–60 % всего затраченного тепла). На рисунке 9.34 представлена принципиальная схема газовой горелки инфракрасного излучения.

Горящий газ выходит из форсунки 5 и попадает в инжектор 4, в котором смешивается с воздухом. Далее газозвдушная горящая смесь из инжектора поступает в распределительную коробку 2 и выходит через каналы 1, передавая тепло керамическому насадку 3. Он нагревается до температуры 850–900 °С и становится источником инфракрасных лучей.

Расход газа определяют по предельной тепловой нагрузке, кДж/м³, из выражения

$$Q_z = z_r Q_1, \quad (9.84)$$

где z_r – число горелок;

Q_1 – предельная тепловая нагрузка одной горелки, кДж/м³.

Число газовых баллонов определяют исходя из числа одновременно работающих горелок и времени их непрерывной работы.

Время непрерывной работы горелок, ч,

$$\tau = \frac{V_z}{q_r}, \quad (9.85)$$

где V_z – вместимость всех используемых баллонов, м³;

q_r – удельный расход газа при работе горелок, м³/ч.

Вместимость баллонов, м³, зависит от их числа:

$$V_z = z_6 V_r, \quad (9.86)$$

где z_6 – число использованных баллонов;

V_r – вместимость одного баллона по газу, м³.

Вместимость баллона по газу

$$V_r = \frac{q_1}{\rho_r}, \quad (9.87)$$

q_1 – количество газа в одном баллоне, кг;

ρ_r – плотность паров газа, $\rho_r = 2,2 \text{ кг/м}^3$.

Запас сжиженного газа в баллоне, кг,

$$q_1 = \frac{V_6}{\rho_{\text{сжг}}}, \quad (9.88)$$

где V_6 – вместимость баллона по сжиженному газу (для 50-литрового баллона принимают $V_6 = 45 \text{ л}$);

$\rho_{\text{сжг}}$ – плотность сжиженного газа, $\rho_{\text{сжг}} = 0,5 \text{ кг/л}$.

Время непрерывной работы горелок, ч,

$$\tau = \frac{\rho_r z_6 V_6}{q_r \rho_{\text{сжг}}}. \quad (9.89)$$

Расход тепла на нагрев АБ покрытия определяют из следующих соображений.

Плотность теплового потока на поверхности покрытия, Вт/м^2 ,

$$q = 0,58(T_n - T_0) \sqrt{\frac{\pi \lambda c \rho}{\tau_n}}, \quad (9.90)$$

где T_n – температура на поверхности покрытия, $^\circ\text{C}$;

T_0 – начальная температура асфальтобетона (принимают постоянной по глубине), $^\circ\text{C}$;

λ – коэффициент теплопроводности асфальтобетона, $\lambda = 1,0 \dots 1,4 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$;

c – удельная теплоемкость, $c = 0,22 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}$;

ρ – плотность асфальтобетона, кг/м^3 ;

τ_n – время нагрева до заданной температуры, ч.

Время нагрева асфальтобетона, ч, на глубину h до заданной температуры T

$$\tau_n = \frac{F_{0h} h^2}{a}, \quad (9.91)$$

где F_{0h} – критерий гомохронности Фурье, $F_{0h} = 0,27 \dots 17,20$ при изменении

безразмерной температуры θ от 0,1 до 0,8, $\theta = \frac{T - T_0}{T_n - T_0}$;

a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{ч}$,

$$a = \begin{cases} 2,10 \cdot 10^{-3} & \text{– для мелкозернистого АБ,} \\ 2,64 \cdot 10^{-3} & \text{– для крупнозернистого АБ.} \end{cases}$$

Высоту установки горелок над покрытием, м,

$$H_y = \sqrt{\frac{320}{q}}. \quad (9.92)$$

Скорость работы разогревателя, м/ч,

$$v_p = \frac{l_p}{\tau_n}, \quad (9.93)$$

где l_p – длина блока горелок разогревателя, м.

Подставив в формулу (9.93) выражение (9.91), получим соотношение

$$v_p = \frac{l_p a}{F_{0h} h^2}. \quad (9.94)$$

Тяговый расчет самоходных разогревателей состоит в определении сил сопротивления, возникающих при передвижении машины в рабочем режиме. В зависимости от набора рабочих органов имеются два варианта расчетов: во-первых, разогревателя, оснащенного только блоком инфракрасных излучателей; во-вторых, разогревателя, снабженного блоком излучателей и фрезерным барабаном.

Если разогреватель имеет только блок излучателей, при перемещении в рабочем режиме следует учитывать только сопротивление его перемещению.

Если же в комплект рабочего оборудования входят и излучатели, и фреза, тогда суммарное сопротивление его передвижению в рабочем режиме включает две составляющие:

– сопротивление перемещению машины $W_{\text{пер}}$;

– сопротивление резанию разогретого асфальтобетона $W_{\text{ф}}$.

Сопротивление перемещению разогревателя, Н,

$$W_{\text{пер}} = (f_1 + i) G_p, \quad (9.95)$$

где f_1 – коэффициент сопротивления перемещению машины, $f_1 = 0,06 \dots 0,12$;

i – уклон пути, $i = 0,03 \dots 0,07$;

G_p – сила тяжести разогревателя, Н.

Сопротивление фрезерованию разогретого асфальтобетона, Н,

$$W_{\phi} = 10^{-6} k_p b_{\phi} h_{\phi}, \quad (9.96)$$

где k_p – удельное сопротивление фрезерованию разогретого асфальтобетона,
 $k_p = 0,05 \dots 0,06$ МПа;

b_{ϕ} – ширина фрезерования, м;

h_{ϕ} – глубина фрезерования, м.

Таким образом, общая сила сопротивления

$$W_{\text{раз}} = W_{\text{пер}} + W_{\phi}. \quad (9.97)$$

Двигатель разогревателя должен развивать силу тяги T , которая преодолевает силы сопротивления, возникающие при работе машины:

$$T \geq W. \quad (9.98)$$

Сила тяги, Н,

$$T = \frac{\eta_{\text{тр}} u_{\text{тр}} N_{\text{дв}}}{n_{\text{кол}} \omega_{\text{д}} r_{\text{кол}}}, \quad (9.99)$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии разогревателя;

$u_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии;

$N_{\text{дв}}$ – мощность двигателя, Вт;

$n_{\text{кол}}$ – число ведущих колес;

$\omega_{\text{д}}$ – угловая скорость вращения вала двигателя, с^{-1} ;

$r_{\text{кол}}$ – радиус ходового колеса, м.

Кроме того, следует проверить силу тяги по сцеплению, считая, что коэффициент сцепления для пневмоколесного движителя по асфальтобетону $\phi_{\text{сц}} = 0,5 \dots 0,6$.

Баланс мощности разогревателя, как и любой другой машины, состоит в определении мощности силовой установки машины (или проверке мощности уже выбранного двигателя), необходимой для привода хода машины и привода ее рабочего оборудования, которая соответствует энергозатратам на преодоление указанных сопротивлений.

Мощность привода хода разогревателя, кВт,

$$N_{\text{пер}} = 10^{-3} \frac{W v_p}{\eta_{\text{т}}}, \quad (9.100)$$

где v_p – скорость рабочего хода, м/с;

$\eta_{\text{т}}$ – КПД трансмиссии машины.

Мощность привода фрезы, кВт,

$$N_{\text{фр}} = 10^{-3} \frac{W_{\text{фр}} \omega_{\text{фр}} R_{\text{фр}}}{\eta_{\text{пф}}}, \quad (9.101)$$

где $\omega_{\text{фр}}$ – угловая скорость вращения барабана, $\omega_{\text{фр}} \leq 0,15$ рад/с;

$R_{\text{фр}}$ – радиус фрезы по режущим зубьям, м;

$\eta_{\text{пф}}$ – КПД привода фрезы.

Соответственно, мощность силовой установки должна быть больше суммы указанных мощностей:

$$N_{\text{св}} \geq N_{\text{пер}} + N_{\text{фр}}. \quad (9.102)$$

При необходимости оценки сопротивлений, возникающих **в транспортном режиме**, следует учитывать сопротивление передвижению машины $W_{\text{пер}}$ и сопротивление от сил инерции поступательно и вращательно движущихся масс при трогании машины с места W_i .

Сила сопротивления инерционных сил, Н,

$$W_i = \frac{G_p v_{\text{тр}}}{g t_{\text{раз}}} + \frac{1,15 \pi M_1 D_{\text{и}}^2 n}{120 t_{\text{раз}} r_{\text{дв}}}, \quad (9.103)$$

где $v_{\text{тр}}$ – транспортная скорость машины, м/с;

$t_{\text{раз}}$ – время разгона до транспортной скорости, с;

M_1 – масса вращающихся элементов, установленных на валу двигателя (муфта, маховик, ротор и др.), кг;

$D_{\text{и}}$ – диаметр инерции элементов, установленных на валу двигателя, м;

n – частота вращения вала двигателя, мин^{-1} ;

$r_{\text{дв}}$ – радиус вала двигателя, м.

По общей силе сопротивления в транспортном режиме можно проверить правильность подбора мощности двигателя разогревателя.

9.5 Машины и оборудование для ремонта цементобетонных покрытий

Ремонт автомобильных дорог и аэродромов, дорожная одежда которых имеет ЦБ покрытия, как правило, обусловлен поверхностным или полным разрушением покрытий. Основные методы ремонта ЦБ покрытий целесообразно разделить на следующие группы:

- 1) восстановление шероховатости;
- 2) текущий ремонт;
- 3) капитальный ремонт.

Для восстановления шероховатости ЦБ покрытий используют следующие технологии:

- механическую обработку покрытий с помощью специального оборудования, например, фрезами, алмазными дисковыми пилами, стальными щетками, формируя волно- или пилообразные мелкие неровности небольшой глубины (до 10 мм);
- дробеструйную обработку стальными шариками для создания заданной степени шероховатости;
- пневматическое воздействие потоком горячего (1000 °С) сжатого воздуха со скоростью до 300 м/с;
- гидравлическую обработку струей воды под давлением 80–90 МПа.

Текущий ремонт ЦБ покрытий включает заделку поврежденных швов, устранение небольших дефектов (шелушения, трещин, выбоин, раковин и др.), устранение просадок плит и др.

Капитальный ремонт предусматривает разрушение и вырубку поврежденных участков. Для этих целей используют следующие машины и оборудование:

- ручной механизированный инструмент ударного действия;
- автобетоноломы и бетоноломы на специализированном шасси;
- машины для дробления цементобетона непосредственно на дороге;
- машины для вскрытия (резания) покрытий.

При малых объемах ремонтных работ используют ручной инструмент – пневматические и гидравлические отбойные молотки или ломы. В этом инструменте энергия сжатого воздуха или рабочей жидкости преобразуется в энергию удара.

Пневматический инструмент ударного действия включает отбойные молотки. Их КПД составляет всего 0,08–0,12. Принцип их работы основан на использовании энергии удара бойка (поршня-ударника), который совершает возвратно-поступательные движения вдоль канала ствола под действием сжатого воздуха, поступающего поочередно по одну и другую сторону ударника. В конце рабочего хода ударник наносит удар по хвостовику наконечника, который разрушает цементобетон. Сжатый воздух для работы пневмоинструмента вырабатывают компрессорные станции, которые могут быть переносными, прицепными или самоходными.

Наиболее важным агрегатом пневмоинструмента является механизм воздухораспределения, который обеспечивает изменение направления поступления сжатого воздуха. На рисунке 9.35 приведены схемы работы основных систем воздухораспределения. Как правило, используют три системы:

- беззолотниковую, которая является саморегулирующейся;
- клапанную, содержащую плоский или шариковый клапан;
- золотниковую.

В беззолотниковой системе (см. рисунок 9.35, а) сжатый воздух по каналу 3 поступает в кольцевое пространство между стенками цилиндра и проточкой в ударнике, затем по каналу 1 попадает в полость под ударником и перемещает его вниз. При этом воздух из-под ударника вытесняется в атмосферу по каналу 4. В нижнем положении ударник производит удар по наконечнику рабочего инструмента, открывая при этом канал 5, в результате чего воздух поступает под нижний торец бойка и начинает перемещать его вверх. При этом воздух, который находится над ударником, выходит в атмосферу по каналу 2. Цикл повторяется, когда ударник открывает канал 1 и сжатый воздух опять поступает в полость над ударником.

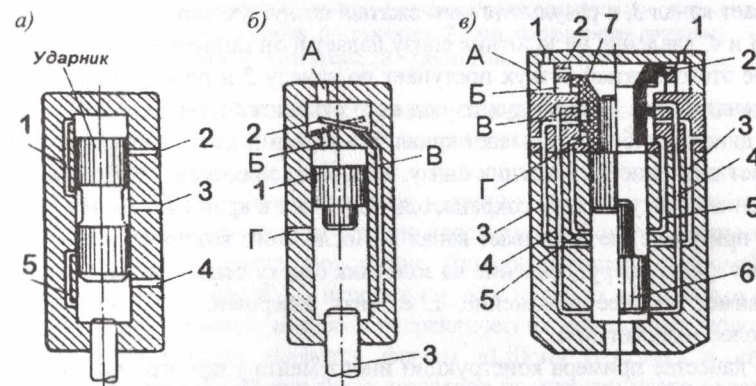


Рисунок 9.35 – Схемы систем воздухораспределителей пневмомолотков:
а – беззолотниковой; б – клапанной; в – золотниковой

Клапанная система воздухораспределения (см. рисунок 9.35, б) с плоским перекидным клапаном работает следующим образом. Сжатый воздух через канал А попадает в пространство с клапаном 2, затем в зависимости от его положения поступает по каналу Б в полость над ударником 1 и перемещает его вниз. При этом воздух из-под ударника выходит в атмосферу по каналу Г. Перекрывая при движении вниз этот канал, ударник обеспечивает в нижней части полости сжатие воздуха, который будет оказывать давление на клапан 2 снизу через канал В. Перед ударом бойка по наконечнику 3 открывается канал Г и воздух из верхней полости (над бойком) будет по этому каналу уходить в атмосферу. В результате давление сверху на клапан 2 падает и за счет давления снизу клапан занимает положение, указанное пунктиром. При этом сжатый воздух поступает по каналу В под ударник и направляет его вверх. Когда ударник проходит канал Г, открывается доступ сжатого воздуха из-под ударника в атмо-

сферу и в результате давления воздуха в полости над ударником клапан 2 опять занимает исходное положение, т. е. цикл повторяется снова.

В золотниковой системе (см. рисунок 9.35, в) с трубчатым золотником на начальной стадии боек 6 и золотник 7 находятся в нижнем положении (под действием силы тяжести). Сжатый воздух создает давление на золотник снизу (поступая по каналу 1 в кольцевые выточки А и Б золотниковой коробки) и сверху (проходя по каналу 2). Поскольку полость над бойком через канал 3 соединена с атмосферой, давление на золотник сверху будет меньше и он займет крайнее верхнее положение. После этого сжатый воздух поступит по выточкам А и Б и по каналу 4 под боек, который начнет перемещаться в исходное (верхнее) положение. При движении вверх боек перекрывает каналы 3 и 5, в результате чего в верхней полости возникнет давление сверху на золотник, обеспечивая ему равновесное состояние. При дальнейшем движении вверх боек перекрывает канал 3, в результате чего сжатый воздух уходит в атмосферу по каналам 3 и 4, давление на золотник снизу падает и он занимает нижнее положение. После этого сжатый воздух поступает по каналу 2 и посылает боек вниз. При движении бойка вниз воздух из-под него отводится по каналу 3. При дальнейшем движении боек открывает канал 5, в который поступает сжатый воздух и создает давление на золотник снизу. Равновесное состояние золотника за счет давления сверху и снизу сохраняется, пока боек в крайнем нижнем положении (т. е. при ударе) не открывает канал 3. После этого воздух из верхней полости выйдет в атмосферу, давление на золотник сверху станет меньше, чем снизу, и он займет верхнее положение, т. е. цикл завершен. Эта система считается наиболее экономичной.

В качестве примера конструкции инструмента ударного действия рассмотрен пневматический лом, конструктивная схема которого представлена на рисунке 9.36. Он состоит из ствола 1 и размещенного в нем ударника 2. На верхнем торце ствола при помощи стакана 3 закреплено воздухораспределительное устройство 4 (золотниковая коробка с золотником). На стакан надета рукоятка 6 с амортизационной пружиной 7 между ними. Пусковое устройство, которое включает подпружиненный шарик 5, толкатель 9 и клин 8, размещено в стакане и рукоятке. На стволе установлен глушитель шума 10. Пневмолом укомплектован сменным рабочим оборудованием (включая лом и другие инструменты), которое закрепляют с помощью колпака 11. При нажатии на рукоятку 6 шарик 5 (при помощи клина и толкателя) открывает доступ сжатому воздуху, поступающему из компрессора, в воздухораспределительное устройство 4. Оно направляет сжатый воздух попеременно в верхнюю и нижнюю полости, в результате чего ударник 2 с заданной частотой наносит удары по рабочему инструменту. Отработанный воздух удаляется через радиальные отверстия в стволе и глушитель.

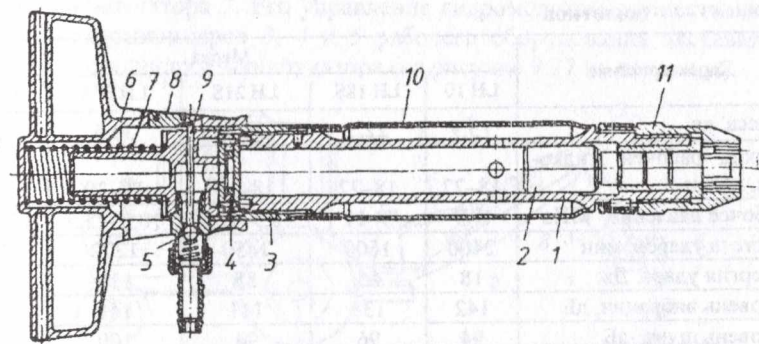


Рисунок 9.36 – Конструктивная схема пневмолота:
1 – ствол; 2 – ударник (бойк); 3 – стакан; 4 – воздухораспределительное устройство;
5 – подпружиненный шарик; 6 – рукоятка; 7 – амортизационная пружина;
8 – клин; 9 – толкатель; 10 – глушитель; 11 – колпак

Гидравлический переносной инструмент ударного действия включает ручные гидравлические молотки. Принцип их работы основан на использовании энергии удара бойка-ударника, которую ему сообщает рабочая жидкость, поступающая под давлением в канал ствола ударника. При поступательном движении вперед ударник производит удар по хвостовику рабочего инструмента, а затем возвращается в исходное положение. Для обеспечения в гидромолотках заданного давления (7–16 МПа) используют, как правило, мобильные гидростанции. Ведущими производителями гидравлических переносных молотков и мобильных гидростанций являются фирмы «Lifton» (Англия) и «Krupp» (Германия). Типоразмерный ряд таких молотков по энергии удара охватывает широкий диапазон величин: от 18 до 110 Дж. В таблице 9.17 представлены технические характеристики гидравлических молотков фирмы «Lifton».

При больших объемах работ для ударного разрушения покрытий применяют специализированные машины или одноковшовые экскаваторы, которые имеют в качестве рабочего оборудования пневматические и гидравлические молоты.

В качестве примера пневматических молотов можно привести автобетоноломы на шасси автомобиля МАЗ. Рабочим оборудованием является пневмомолот, который связан соответствующими пневмолиниями с компрессорной станцией (ЗИФ-ВКС-6). На базовом шасси устанавливают поворотную платформу, на которой располагают компрессорную станцию, механизм поворота платформы и систему управления рабочим оборудованием с сиденьем оператора, а в задней части – пневмомолот. Пневмомолот двойного действия с ударным наконечником обеспечивает обработку полосы шириной 3,8 м (с частотой 40 ударов в минуту) с производительностью 70–100 м²/ч.

Таблица 9.17 – Технические характеристики ручных гидравлических молотков

Характеристика	Марка				
	LH 10	LH 18S	LH 21S	LH 25S	LH 25E
Масса, кг	13,9	22,5	24,7	30,6	31,0
Расход рабочей жидкости, л/мин	18–22	18–22	18–30	18–30	18–30
Рабочее давление, МПа	7–9	9–11	10,5–12,5	10,5–12,5	10,5–12,5
Частота ударов, мин ⁻¹	2400	1600	1450	1270	1270
Энергия удара, Дж	18	65	85	110	110
Уровень вибрации, дБ	142	138	141	141	139
Уровень шума, дБ	94	96	94	100	100

В современных гидравлических молотах-бетоноломах энергию удара рабочего инструмента можно точно регулировать, что в сочетании с выбранной подачей машины обеспечивает необходимые размеры отломанных кусков цементобетона, которые затем перегружаются экскаватором или погрузчиком. Они развивают энергию удара до 9 кДж, что обеспечивает наименьшую энергоемкость при разрушении твердых покрытий по сравнению с другими видами силового воздействия.

Гидромолоты являются гидроударными инструментами, которые относят к категории сменного оборудования для гидравлического экскаватора, погрузчика или трактора.

Гидромолоты классифицируют по следующим признакам:

- 1) по энергии удара (мощности) – малые (400–1500), средние (1500–3500) и тяжелые (> 3500 Дж);
- 2) по типу аккумулирующего энергию органа – с гидравлическим и гидропневматическим аккумулятором;
- 3) по типу исполнения – открытые, закрытые и с боковым креплением;
- 4) по массе базовой машины – легкие (3,5–8,0), средние (8,0–120,0) и тяжелые (>120 т);
- 5) по принципу действия – простого и двойного действия.

Современные гидромолоты имеют основные параметры в широком диапазоне: энергия их удара составляет от 0,4 до 20 кДж при изменении частоты ударов в пределах от 10 до 40 Гц.

Гидромолоты приводят от насосов гидросистемы базовой машины (одноковшового экскаватора, погрузчика, манипулятора и др.). В гидромолотах двойного действия подъем его ударной части в режиме холостого хода происходит под давлением рабочей жидкости, а ее разгон вниз – под действием собственной силы тяжести и энергии рабочей жидкости или сжатого воздуха, которая накапливается при холостом ходе в аккумуляторе. На рисунке 9.37 представлена конструктивная схема гидромолота на базе неполноповоротного

го экскаватора. Гидромолот 6 крепится к рукояти 8 экскаватора с помощью вставки-манипулятора 7. Его управление гидромолотом осуществляют при помощи гидроцилиндров 3, 4 и 5 рабочего оборудования экскаватора, а также гидроцилиндров манипулятора (на рисунке 9.37 не показаны).

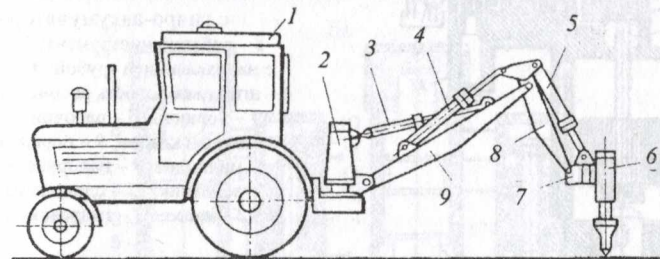


Рисунок 9.37 – Конструктивная схема экскаватора с гидромолотом:
1 – базовый экскаватор; 2 – поворотная колонка; 3 – гидроцилиндр управления стрелой;
4 – гидроцилиндр управления рукоятью; 5 – гидроцилиндр управления положением гидромолота; 6 – гидромолот; 7 – вставка-манипулятор; 8 – рукоять; 9 – стрела

Как правило, молоты устанавливают на рукоять экскаватора с любым ковшовым механизмом при помощи специальных переходников-адаптеров (при снятом ковше), снабженных гидроразъемами для присоединения к гидросистеме экскаватора.

На рисунке 9.38 представлена принципиальная схема гидромолота с гидроаккумулятором. К его основным элементам относятся корпус 2 с направляющей трубой, ударник 3 и сменный рабочий инструмент 1, а также рабочий цилиндр 6 с распределительным золотником, гидроаккумулятором 13 и насосом 12. Цикл работы гидромолота включает следующие стадии:

- подъем ударника вверх;
- его торможение перед верхней мертвой точкой;
- разгон вниз;
- удар по хвостовику рабочего инструмента.

При разгоне ударника 3 вверх рабочая жидкость поступает от насоса 12 через золотник 10 в штоковую полость 4 рабочего цилиндра 6 и в гидроаккумулятор 13, накапливаясь в нем. В конце подъема золотник соединяет поршневую полость 8 цилиндра с напорной линией 9, при этом происходит торможение ударника и вытеснение жидкости в гидроаккумулятор. После остановки ударника в верхней мертвой точке он разгоняется вниз с ускорением под действием силы тяжести и давления рабочей жидкости, которая действует на поршень 5. Далее аккумулятор разряжается, отдавая накопленную жидкость в рабочий цилиндр 6. В конце хода ударника 3 жидкость через обратный клапан 7 поступает из поршневой полости 8 в сливную магистраль 11, затем следует удар по хвостовику рабочего инструмента 1. Цикл завершается.

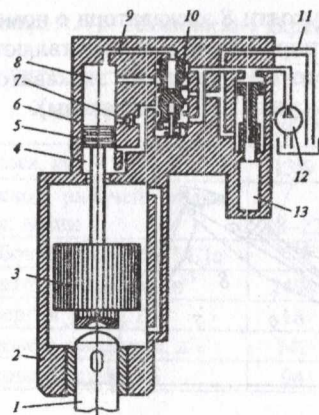


Рисунок 9.38 – Принципиальная схема гидромолота с гидроаккумулятором:
1 – рабочий инструмент; 2 – корпус с направляющей трубой; 3 – ударник;
4 – штоковая полость рабочего цилиндра; 5 – поршень; 6 – рабочий цилиндр;
7 – обратный клапан; 8 – поршневая полость цилиндра; 9 – напорная линия;
10 – золотник; 11 – сливная магистраль;
12 – насос; 13 – гидроаккумулятор

На рисунке 9.39 приведена одна из типичных гидравлических систем молота с гидроаккумулятором. Двигатель внутреннего сгорания через редуктор приводит гидронасосы, которые обеспечивают эксплуатацию гидромолота.

Гидромолоты с гидроаккумулятором имеют КПД в пределах 0,55–0,65 и развивают энергию удара до 40 кДж при частоте удара 2,5–5,0 Гц. Масса ударника составляет 100–600 кг.

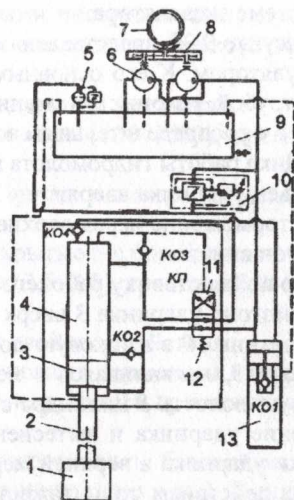


Рисунок 9.39 – Принципиальная схема гидросистемы молота с гидроаккумулятором:

1 – ударник; 2 – шток; 3 – поршень;
4 – рабочий цилиндр; 5 – фильтр;
6 – насос; 7 – двигатель; 8 – редуктор;
9 – бак; 10 – предохранительный клапан;
11 – распределительный золотник;
12 – пружина; 13 – аккумулятор; КО1, КО2, КО3, КО4 – обратные клапаны

Гидропневмомолот работает следующим образом. В исходном положении (рисунок 9.40, а) рабочую жидкость под напором подают в полость А распределителя 1, а также в камеру взвода 3, управляющую камеру 7 ударного блока 8 и через каналы Б и В в полость 12 золотника 14. Напорное давление жидкости

действует на ступень 13 золотника, перемещая его в крайнее нижнее положение, а также на нижнюю ступень 4 бойка, заставляя его двигаться вверх (холостой ход) и при этом сжимая воздух в пневмоаккумуляторе 9. При этом жидкость из камеры рабочего хода 8 вытесняется через камеру 10 золотника в слив.

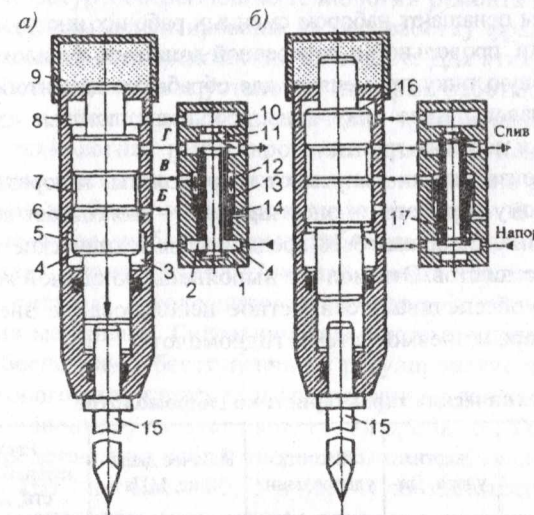


Рисунок 9.40 – Принципиальная схема гидромолота с пневмоаккумулятором:
а – исходное состояние; б – верхнее положение ударника:

1 – распределитель; 2 – нижняя ступень золотника; 3 – камера взвода;
4 – нижняя ступень ударника; 5 – ударник; 6 – ударный блок; 7 – управляющая камера;
8 – камера рабочего хода; 9 – пневмоаккумулятор; 10 – камера золотника;
11 – проточка в корпусе распределителя; 12 – полость золотника; 13 – ступень золотника;
14 – золотник; 15 – сменный рабочий инструмент; 16 – верхняя ступень золотника;
17 – центральное отверстие распределителя

В верхнем положении ударника (рисунок 9.40, б) управляющая камера 7 соединяет каналы В и Г между собой, а полость 12 – со сливом. Под давлением жидкости на нижнюю ступень 2 золотника он перемещается вверх, входит своей верхней частью в проточку 11 корпуса распределителя, перекрывает сливную линию и через центральное отверстие 17 распределителя соединяет напорную линию с камерой взвода 3 и камерой рабочего хода 8. Ударник начинает движение вниз при совместном воздействии давления воздуха (из аккумулятора) и жидкости (поскольку площадь ступени 16 больше площади ступени 13). При этом жидкость переливается из полости взвода в камеру рабочего хода. Ударник 5 ударяет по хвостовику рабочего инструмента 15, управляющая камера 7 соединяет каналы Б и В с напорной гидролинией, а золотник перебрасывается вниз. Цикл завершается.

Гидромолоты с пневмоаккумулятором развивают энергию удара в пределах от 0,1 до 40,0 кДж при частоте 3–12 Гц. Пневмоаккумулятор обеспечивает давление сжатого воздуха до 0,6–1,2 МПа, давление в гидросистеме составляет, как и в молотах с гидроаккумулятором, 8–19 МПа.

Гидромолоты оснащают набором сменных рабочих инструментов: тупой и конусной пиками, продольной и поперечной лопатами, зубилом и трамбовкой. Зубило и конусную пику применяют для обработки цементобетона и других твердых материалов, тупую пику – для дробления, лопаты – для разрушения асфальтобетона и мерзлого грунта.

Крупные производители выпускают гидромолоты, типоразмерный ряд которых по главному параметру – энергии удара – охватывает весьма широкий диапазон значений. В таблице 9.18 представлены технические характеристики некоторых гидромолотов. Эти молоты выполнены по единой конструктивной схеме, которая обеспечивает совместное использование энергии гидросистемы экскаватора и пневмосистемы гидромолота.

Таблица 9.18 – Технические характеристики гидромолотов

Марка	Энергия удара, Дж	Частота ударов, мин ⁻¹	Рабочее давление, МПа	Расход рабочей жидкости, л/мин	Масса, кг
<i>«Гидромолот» (Россия)</i>					
НМ-140	750	600	10	60–120	280
НМ-230М	1000	540	10	80–120	350
НМ-440М	4000	300	16	160–240	1200
<i>«Lifton» (Англия)</i>					
LH 70	110	1300–2200	8,0–12,5	15–28	72
LH 300	520	750–1230	10,0–15,5	40–70	300
LH 1200	2300	350–700	12–17	90–130	1250
<i>«Krupp» (Германия)</i>					
НМ 60	600	700–1500	9–12	15–35	
НМ 720	7200	350–1200	9–17	90–120	1180
НМ 4000	40000	330–470	15,5–19,0	400–480	6900
<i>«Montabert» (Франция)</i>					
SMS 30	–	655–1250	13,5	18–28	78
SMS 70	–	640–2000	15,5	20–50	190
SMS 140	–	755–1150	12,5	70–120	426

Как было отмечено, гидромолоты-бетоноломы используют в двух вариантах: в качестве *сменного оборудования* одноковшовых экскаваторов с жесткой подвеской и в качестве *основного рабочего оборудования* на специальном шасси.

Современные ресурсосберегающие технологии ремонта и восстановления дорожной одежды ориентированы на переработку фрагментов разрушенных ЦБ покрытий непосредственно на дороге. Для этих целей используют прицепные и самоходные установки, которые работают в комплексе с бетоноломами и обеспечивают измельчение кусков цементобетона до приемлемых в технологиях рециклирования размеров. Как правило, они имеют гусеничное шасси, на раме которого смонтировано рабочее оборудование, включая дробилку и сортировочную установку. В частности, самоходные машины для дробления цементобетона и асфальтобетона, которые изготавливает фирма «Хтес» (Англия), имеют щековую дробилку и вибрационный питатель с колосниковым грохотом и транспортером для мелкой фракции материала. Гидравлическая система управления рабочими органами обеспечивает бесступенчатое регулирование частоты оборотов эксцентрикового вала питателя и согласованное движение потока материала от вибрационного питателя к щековой дробилке. Установки серии С-10 и С-12 представляют собой энергонасыщенные машины с мощностью 166 и 269 кВт (при массе 30,75 и 45,0 т) соответственно, что позволяет дробить цементобетон (при частоте движения подвижной щеки 5,4 и 5,0 Гц), размеры фрагментов которого соответствуют размерам приемного отверстия дробилок – 1000×650 и 1200×750 мм.

Машины для вскрытия дорожных покрытий (дорожные фрезы) являются более экономичными и производительными по сравнению с машинами ударного действия. Фрезы могут разрушать дорожную одежду на всю ее толщину или срезать ее отдельные слои в соответствии с поставленной задачей. В зависимости от назначения дорожные фрезы используют в качестве:

- *самостоятельных машин* для разрушения дорожных покрытий;
- *рабочих органов машин-комбайнов*, обеспечивающих почти весь технологический процесс ремонта и восстановления дорожной одежды.

Информация о дорожных фрезах как самостоятельных машинах изложена достаточно подробно в разделе по капитальному ремонту АБ покрытий. Для разрушения ЦБ покрытий также используют самоходные фрезы. Различия состоят в конфигурации резцов для вскрытия АБ и ЦБ покрытий, поскольку их удельные сопротивления резанию существенно различаются.

Расчет пневмоинструментов ударного действия включает определение мощности, развиваемой инструментом, а также выбор компрессора и расчет воздухоподводящей сети.

При определении мощности, которую может реализовать пневмомолоток при ударе, допускают, что при постоянном давлении сжатого воздуха на

верхнем торце его ударника и постоянном противодействии на нижнем торце ударник движется равноускоренно.

Мощность пневмомолотка, кВт, выражают через работу ударника A_1 при единичном ударе с учетом его КПД и частоты ударов:

$$N_{\text{пм}} = 10^{-3} A_1 \eta_{\text{уд}} n_{\text{уд}}, \quad (9.104)$$

где $\eta_{\text{уд}}$ – КПД ударника;

$n_{\text{уд}}$ – частота ударов, т. е. число ударов в секунду.

Работа ударника A_1 , Дж,

$$A_1 = Fl = p_i S l = \frac{\pi d^2}{4} p_i l, \quad (9.105)$$

где F – сила сжатого воздуха, действующая на ударник, Н;

l – ход (длина пути) ударника, м;

S – площадь поперечного сечения ударника, $S = \frac{\pi d^2}{4}$, м²;

d – диаметр ударника, м;

p_i – среднее индикаторное давление в цилиндре молотка при рабочем ходе ударника, Па; p_i можно определить, принимая неизбежные потери давления в 30 % от номинального и противодействие снизу на ударник на 15 % выше атмосферного. В этом случае

$$p_i = 0,7 p_0 - 1,15, \quad (9.106)$$

где p_0 – номинальное давление сжатого воздуха на входе в инструмент, Па.

КПД пневмоинструмента располагается в довольно широком интервале (от 0,85 до 0,98), что в ряде случаев требует его точной оценки. В общем случае КПД зависит от масс соударяющихся тел и их упругих свойств и определяется по формуле

$$\eta_{\text{уд}} = \frac{m_{\text{уд}} m_{\text{пр}}}{(m_{\text{уд}} + m_{\text{пр}})^2} (1 + \kappa_{\text{в}})^2, \quad (9.107)$$

где $\kappa_{\text{в}}$ – коэффициент восстановления, зависящий от модуля упругости соударяемых материалов;

$m_{\text{уд}}$ – масса ударника, кг;

$m_{\text{пр}}$ – приведенная масса рабочего инструмента, учитывающая сопротивление обрабатываемого материала, кг,

$$m_{\text{пр}} = \alpha m_{\text{ри}}, \quad (9.108)$$

где α – коэффициент, зависящий от физико-механических характеристик обрабатываемого материала, $\alpha = 1 \dots 5$.

Из формулы (9.107) следует, что наиболее высокий КПД удара достигается при $\frac{m_{\text{уд}}}{m_{\text{пр}}} = \kappa_{\text{в}}$, что необходимо учитывать при проектировании.

Продолжительность рабочего хода ударника, с,

$$t_{\text{рх}} = \sqrt{\frac{2l}{a}},$$

где a – ускорение ударника, м/с²,

$$a = p_i \frac{\pi d^2}{4} \frac{1}{m_{\text{уд}}}.$$

Тогда

$$t_{\text{рх}} = 1,6 \sqrt{\frac{m_{\text{уд}} l}{p_i d^2}}. \quad (9.109)$$

Число ударов бойка $n_{\text{уд}}$ в единицу времени, с⁻¹,

$$n_{\text{уд}} = \frac{1}{T_{\text{ц}}}, \quad (9.110)$$

где $T_{\text{ц}}$ – время полного цикла движения ударника, состоящего из рабочего и холостого (обратного) хода; время холостого хода $t_{\text{хх}}$ принимают равным $1,2 t_{\text{рх}}$, т. е.

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{рх}} + t_{\text{хх}} = 1,2 t_{\text{рх}}. \quad (9.111)$$

Выбор компрессора и расчет воздухоподводящей сети,

Производительность компрессорной установки, для питания пневмоинструментов, м³/с, рассчитывают с учетом их количества по формуле

$$P_{\text{к}} = \kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \sum_{i=1}^N q_i, \quad (9.112)$$

где κ_1 – коэффициент одновременности работы инструментов,

$$\kappa_1 = \begin{cases} 1 & \text{– для одного инструмента,} \\ 0,9 & \text{– для двух или трех,} \\ 0,85 & \text{– для четырех;} \end{cases}$$

κ_2 – коэффициент, учитывающий потери воздуха в сети, $\kappa_2 = 1,20 \dots 1,35$;

κ_3 – коэффициент, учитывающий износ инструмента, $\kappa_3 = 1,1 \dots 1,2$;

$\sum q_i$ – суммарный расход воздуха всеми N инструментами,

$$\sum_{i=1}^N q_i = q_1 + q_2 + \dots + q_i \text{ м}^3/\text{с};$$

$q_1, q_2, \dots, q_i$ – расход воздуха каждым используемым пневмоинструментом.

Расход воздуха одним инструментом, м³/с,

$$q_i = 1,2 n_{уд} \frac{\pi d^2}{4} l p_i. \quad (9.113)$$

Минимальный диаметр трубопровода или шланга, м,

$$d = 885 \sqrt{\frac{Q^2 L_{экр}}{\Delta p}}, \quad (9.114)$$

где Q – расход воздуха на данном участке воздухоподводящей сети, м³/мин;

$L_{экр}$ – эквивалентная длина участка, м,

$$L_{экр} = l_r + l_{мп}, \quad (9.115)$$

l_r – геометрическая длина участка;

$l_{мп}$ – местные потери давления в арматуре сети, которые характеризуют дополнительной длиной (из таблицы 9.19).

Таблица 9.19 – Эквивалентная длина местных сопротивлений

Сопротивление	Диаметр шланга, мм				
	25	50	80	100	150
Вентиль	3,0	7,0	11,0	15,0	25,0
Колено (90°)	0,2	0,4	0,7	1,0	1,4
Тройник	2,0	4,0	7,0	10,0	17,0
Переходник	0,5	1,0	2,0	2,5	4,0

Расчет параметров оборудования для вскрытия дорожных покрытий резанием. К числу основных параметров дорожной фрезы относятся температура (для АБ покрытий), скорость резания и толщина срезаемого слоя за один оборот фрезерного барабана, скорость передвижения машины, производительность процесса разрушения покрытий.

Тяговый расчет фрезы проводят с учетом всех сопротивлений, действующих на машину в рабочем режиме. Для холодной фрезы общее сопротивление W складывается из сопротивления ходовой системы при перемещении машины $W_{пер}$ и сопротивления фрезерованию дорожного покрытия зубьями барабана $W_{фр}$.

Уравнение тягового баланса машины (на пневмоколесном ходу) для вскрытия покрытий

$$T \geq \sum W = W_{пер} + W_{фр}, \quad (9.116)$$

где T – сила тяги на ведущих колесах машины, Н.

Сила тяги машины, Н,

$$T = \frac{\eta_{тр} u_{тр} N_{дв}}{n_{кол} \omega_d r_{кол}}, \quad (9.117)$$

где $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии машины;

$u_{тр}$ – передаточное число трансмиссии;

$N_{дв}$ – мощность силовой установки, Вт;

$n_{кол}$ – число ведущих колес;

ω_d – угловая скорость вращения вала двигателя, с⁻¹;

$r_{кол}$ – радиус ходового колеса, м.

Сила сопротивления передвижению машины, Н,

$$W_{пер} = (f + i_y) G, \quad (9.118)$$

где f – коэффициент сопротивления передвижению,

$$f = \begin{cases} 0,014 \dots 0,018 & \text{для сухого АБ,} \\ 0,018 \dots 0,022 & \text{для мокрого АБ;} \end{cases}$$

i_y – уклон, $i_y = 0,03 \dots 0,07$;

G – сила тяжести машины, Н (если в состав машины входит перегрузочный конвейер, следует учитывать силу тяжести материала, который транспортируется его лентой).

Сила сопротивления фрезерованию, Н,

$$W_{фр} = 10^{-6} k_p S, \quad (9.119)$$

где k_p – удельное сопротивление фрезерованию зубьями, $k_p = 4 \dots 10$ МПа для асфальтобетона;

S – суммарная (усредненная) площадь поверхности зубьев, одновременно контактирующих с разрушаемым материалом, м²,

$$S = m_3 S_3, \quad (9.120)$$

m_3 – число зубьев на барабане, одновременно разрыхляющих бетон;

S_3 – площадь поверхности одного зуба, м².

Баланс мощности составляют, учитывая затраты мощности на привод ходовой системы $N_{пер}$ в рабочем режиме, фрезы $N_{фр}$ и ленточного транспортера $N_{лк}$.

Мощность, затрачиваемая на передвижение, кВт,

$$N_{\text{пер}} = 10^{-3} \frac{W_{\text{пер}} v_p}{\eta_{\text{тр}}}, \quad (9.121)$$

где v_p – скорость рабочего хода машины, м/с;

$\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии машины.

Мощность привода фрезы, кВт,

$$N_{\text{фр}} = 10^{-3} \frac{W_{\text{фр}} \omega_{\text{фр}} R_{\text{фр}}}{\eta_{\text{пф}}}, \quad (9.122)$$

где $\omega_{\text{фр}}$ – угловая скорость вращения фрезерного барабана, $\omega_{\text{фр}} \leq 0,15$ рад/с ;

$R_{\text{фр}}$ – радиус фрезы по режущим зубьям, м;

$\eta_{\text{пф}}$ – КПД привода фрезы.

Мощность привода ленточного конвейера-перегрузателя, кВт,

$$N_{\text{лк}} = 10^{-3} \frac{P_{\text{лк}} g [k_{\text{ск}} (L_{\text{ну}} + L_{\text{гу}}) + H_{\text{лк}}]}{3,6 \eta_{\text{пк}}}, \quad (9.123)$$

где $P_{\text{лк}}$ – производительность конвейера, т/ч;

$k_{\text{ск}}$ – коэффициент сопротивления конвейера, $k_{\text{ск}} = 2 \dots 3$;

$L_{\text{ну}}, L_{\text{гу}}, H_{\text{лк}}$ – длины наклонного и горизонтального участков, а также высота конвейера, м;

$\eta_{\text{пк}}$ – КПД привода конвейера.

Расчет гидромолота. Основными характеристиками гидромолотов являются энергия и частота ударов, геометрические характеристики рабочего органа, физико-механические свойства цементобетона и др.

Мощность приводной станции гидромолота, Вт,

$$N_{\text{гм}} = E n_m, \quad (9.124)$$

где E – энергия удара, Дж;

n_m – частота ударов молота, с^{-1} .

Принимаем мощность на привод ударника $N_{\text{гм}} = 0,8N$ (N – мощность машины).

Энергия удара гидромолота зависит от его конструктивных особенностей (одно- или двухстороннего действия).

Энергия удара для гидромолота одностороннего действия, Дж,

$$E = \eta_m G H, \quad (9.125)$$

где η_m – КПД гидромолота, $\eta_m = 0,55 \dots 0,65$;

G – сила тяжести ударной части, Н;

H – величина рабочего хода ударной части, м.

Энергия удара для гидромолота двухстороннего действия, Дж,

$$E = \eta_m (G + pS) H, \quad (9.126)$$

где p – давление рабочей жидкости, Па;

S – рабочая площадь поршня, м^2 .

Число ударов, требуемое для внедрения рабочего органа в покрытие заданной толщины δ_T ,

$$n = \frac{\delta_T}{\delta}, \quad (9.127)$$

где δ – глубина внедрения рабочего за один удар, м,

$$\delta = \frac{2k_\alpha v E_{\text{уд}}}{k_d S(u - v)}, \quad (9.128)$$

k_α – коэффициент формы рабочего органа (плоского или конического),

$$k_\alpha = \begin{cases} 1,0 & \text{при } \alpha = 180^\circ, \\ 1,8 & \text{при } 90^\circ, \\ 2,2 & \text{при } 60^\circ, \\ 3,6 & \text{при } 30^\circ; \end{cases}$$

v – скорость рабочего органа, м/с;

$E_{\text{уд}}$ – удельная энергия (энергия единичного удара), Н·м;

k_d – удельное динамическое сопротивление цементобетона, Н/м²;

u – скорость волны деформации в материале, м/с.

Скорость рабочего органа, м/с, при требуемой глубине внедрения δ_T

$$v = \frac{k_d \delta_T S u}{2 k_\alpha E_{\text{уд}}}. \quad (9.129)$$

Энергия единичного удара, Дж,

$$E_{\text{уд}} = \frac{G v^2}{2g}. \quad (9.130)$$

Удельное динамическое сопротивление цементобетона

$$k_d = \rho v^2 + \varepsilon_d \sigma_d, \quad (9.131)$$

ρ – плотность материала, Н·с²/м⁴;

ε_d – динамическая деформация,

$$\varepsilon_d = \frac{\sigma_d}{E_d} \left(1 - \frac{2\mu}{1-\mu}\right),$$

σ_d – динамический предел прочности цементобетона, Н/м²,

$$\sigma_d = (1,4 \dots 1,6) \sigma_{сж},$$

$\sigma_{сж}$ – предел прочности материала при статическом сжатии, Па, $\sigma_{сж} = (20 \dots 60) \cdot 10^6$ Па;

E_d – динамический модуль деформации, Па, $E_d = (1 \dots 3) \cdot 10^9$;

μ – коэффициент Пуассона (поперечной деформации материала), $\mu = 0,2 \dots 0,5$.

Скорость волны деформации, м/с,

$$u = \sqrt{\frac{E_d(1-\mu)}{I(1-\mu-2\mu^2)}}. \quad (9.132)$$

Продолжительность ударного импульса, с,

$$t_{уд} = \frac{2\kappa_\alpha E_{уд}}{k_d S(u-v)}. \quad (9.133)$$

Форма и геометрия рабочего инструмента оказывают влияние на производительность и энергоемкость процесса разрушения. Для разрушения цементобетонных покрытий в основном используют клинообразные рабочие органы.

Масса рабочего инструмента, кг,

$$m_{po} = \frac{1}{2} \rho \delta^2 B_{po} \operatorname{tg} \frac{\alpha_{po}}{2}, \quad (9.134)$$

где ρ – плотность материала рабочего органа, кг/м³;

B_{po} – ширина рабочего органа, м;

α_{po} – угол заострения рабочего органа (клина).

Для инженерных расчетов рекомендуют следующее соотношение масс:

$$m_{po} = M, \quad (9.135)$$

где M – масса ударника, кг.

Эксплуатационная производительность при циклическом разрушении, м³/ч,

$$P_3 = \frac{60\kappa_b}{T_{ц}} \delta_T b l, \quad (9.136)$$

где κ_b – коэффициент использования машины по времени, $\kappa_b = 0,85$;

b – расстояние между соседними положениями по ширине покрытия, м;

l – расстояние между соседними положениями (ударами) по длине покрытия, м;

$T_{ц}$ – время цикла, ч,

$$T_{ц} = t_3 + t_{пер}, \quad (9.137)$$

t_3 – продолжительность ударного воздействия, ч;

$t_{пер}$ – время на перемещение машины с одной на другую рабочую позицию, ч.

Контрольные вопросы

1 В чем состоят различия между текущим, средним и капитальным ремонтами дорожной одежды?

2 Что такое мелкозернистые и литые асфальтобетонные смеси?

3 Какие основные операции включает ямочный ремонт?

4 Назовите основные агрегаты дорожных ремонтеров для укладки мелкозернистых АБ смесей.

5 Классифицируйте термосы-миксеры по основным признакам.

6 Назовите состав комплексов машин для механизированной укладки эмульсионно-минеральных смесей.

7 Что такое струйно-инъекционный метод укладки эмульсионно-минеральных смесей?

8 Напишите и разъясните формулу для определения эксплуатационной производительности машин для текущего ремонта дорожных покрытий.

9 Дайте классификацию навесных фрез по основным признакам.

10 Какие сопротивления являются наиболее значимыми при фрезеровании асфальтобетона?

11 Какие средства малой механизации используют в технологии горячего и холодного восстановления дорожных покрытий?

12 Какие операции включает технология горячего рециклинга на дороге?

13 Перечислите и прокомментируйте основные классификационные признаки самоходных дорожных фрез.

14 Какой тип привода используют для фрезерных барабанов дорожных фрез?

15 Какие сопротивления являются наиболее значимыми при фрезеровании асфальтобетона?

16 Назовите комплект машин для реализации технологии горячего рециклинга на дороге.

17 Дайте классификацию рециклеров по основным признакам.

- 18 Перечислите основные рабочие органы рециклеров.
- 19 Какие сопротивления следует учитывать в рабочем режиме рециклеров при тяговом расчете?
- 20 Для чего проводят поверхностную обработку дорожных покрытий?
- 21 Какие методы воздействия используют для получения шероховатых поверхностных слоев на асфальтобетонном покрытии?
- 22 В чем состоят различия раздельного и синхронного распределения щебня и битумного вяжущего?
- 23 Назовите состав комплектов машин для раздельного распределения щебня и битумного вяжущего.
- 24 Классифицируйте автогрейдеры по основным признакам.
- 25 Классифицируйте щебнераспределители по основным признакам.
- 26 Перечислите основные элементы рабочего оборудования щебнераспределителя на базе трактора МТЗ.
- 27 Какие преимущества имеет синхронная технология распределения компонентов смеси по дорожному полотну?
- 28 Какие основные агрегаты входят в состав рабочего оборудования битумо-щебнераспределителя?
- 29 Как осуществляют распределение вяжущего битумо-щебнераспределителем?
- 30 Какие технические средства используют для управления распределением щебня по дорожному покрытию?
- 31 Какие сопротивления учитывают в тяговом расчете битумо-щебнераспределителя?
- 32 Какие компоненты следует учитывать в оценке баланса мощности битумо-щебнераспределителя?
- 33 Какие методы используют для восстановления шероховатости цементобетонных покрытий?
- 34 Какие методы и оборудование используют для капитального ремонта цементобетонных покрытий?
- 35 Назовите и прокомментируйте основные сопротивления, которые следует учитывать в тяговом режиме холодной фрезы в рабочем режиме.
- 36 Оцените баланс мощности холодной фрезы при разрушении цементобетонных покрытий.

10 МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛЕТНЕГО СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ГОРОДСКИХ ДОРОГ

10.1 Особенности технологических процессов

Работы по летнему содержанию дорог играют важную роль в обеспечении их нормального технического состояния. Они приостанавливают, а в некоторых случаях устраняют развитие повреждений дорожных покрытий. Однако, несмотря на важность и значимость этих работ, они пока в недостаточной степени обеспечены специализированными машинами из-за относительно малых объемов работ, а также наличия на дорогах всевозможных препятствий, которые ограничивают технологические возможности машин, в том числе их маневренность. Между тем комплексная механизация работ по летнему содержанию дорог не представляется в наших условиях утопией, поскольку ведущие производители дорожной техники снабжают потребительский рынок как специализированной техникой, так и комбинированными машинами, способными выполнять комплекс различных работ.

Работы по содержанию автомобильных и городских дорог в летний период существенно различаются между собой.

В состав работ по содержанию автомобильных дорог входят следующие мероприятия, которые разделяют на три основные группы:

- 1) содержание земляного полотна дорог (в том числе высевание и скашивание травы, посадка и подрезка деревьев и кустарников, борьба с болезнями и вредителями зеленых насаждений, планировка обочин и расчистка канав);
- 2) содержание дорожной одежды дорог (мойка и полив, очистка);
- 3) содержание обстановки и благоустройство дорог (маркировка и окраска обстановки).

Работы по содержанию земляного полотна и полосы отвода также предусматривают поддержание в чистоте и порядке откосов и обочин, полосы отвода, их очистку от мусора, грязи и посторонних предметов, а также укрепление откосов.

Содержание дорожной одежды в весенний период включает работы по очистке покрытий не только от пыли и грязи, но и от материалов, которые применяются для борьбы с зимней скользкостью. Следует отметить, что

загрязнения (смет) на дорожном покрытии на 10–20 % снижают его сцепление с колесами автотранспортных средств, а тонкодисперсные частицы загрязнений, проникая через фильтры в цилиндры двигателей, существенно уменьшают их долговечность.

В состав работ по содержанию городских дорог и улиц входят следующие операции, связанные с очисткой их проезжей части:

- удаление загрязнений (в том числе подметание полосы движения и прилотовой полосы, мойка дорожных покрытий, уборка ливневых грунтовых наносов и объемных загрязнений);

- снижение запыленности, предохранение от перегрева в жаркий сезон и оздоровление микроклимата улиц и прилегающего воздушного пространства поливом проезжей части;

- межсезонные работы (в том числе уборка опавших листьев и грунтовых наносов).

Дорожные покрытия поддерживают в чистоте путем их систематической чистки от пыли, мусора и грязи при помощи различных машин и вспомогательного оборудования. Кроме того, осуществляют уход за зелеными насаждениями городских улиц.

10.2 Поливомоечные машины

Поливомоечные машины (ПММ) предназначены в основном для городских улиц и дорог. Их используют для механизированной поливки (увлажнения) и мойки дорожных покрытий, поливки зеленых насаждений, а также для других видов работ (подвоза воды, тушения пожаров и т. п.).

ПММ классифицируют по следующим основным признакам:

- по назначению – поливочные, моечные и универсальные поливомоечные машины;

- по типу шасси – самоходные (на серийном автомобильном или специальном шасси) и прицепные (на грузовых прицепах или полуприцепах);

- по типу насосной установки – с низким (до 1 МПа) и высоким (более 1 МПа) давлением воды;

- по типу рабочего оборудования – с поливочными и моечными насадками, с водяной рампой и водяным соплом для мойки дорожной обстановки.

Наиболее распространены универсальные ПММ, которые имеют общую принципиальную схему устройств подачи воды. Их оснащают цистерной, которую устанавливают на шасси, всасывающим трубопроводом и центробежным насосом, который подает воду под давлением к моющим или поливочным насадкам. Типичная схема представлена на рисунке 10.1. Вода из цистерны 2 через фильтр, задерживающий примеси, и центральный клапан 3, который оперативно перекрывает подачу воды, поступает в центробежный насос 4. Насос работает от двигателя базового шасси через механическую

или гидрообъемную передачу и подает воду в напорный трубопровод 7, снабженный насадками 6. Трубопровод имеет разводочный насадок 5, отключающий любой из насадков.

Как правило, машину снабжают трубопроводами и кранами для заправки из водоемов в случае их применения при тушении пожаров. Соответственно, в заправочной магистрали устанавливают фильтр во избежание попадания загрязнений в цистерну.

ПММ, как правило, оборудуют сменными рабочими органами в виде щелевых поливочных и моечных насадок. Их устанавливают перед машиной по ее внешним сторонам, что обеспечивает эффективную зону обработки дорожных покрытий, составляющую 6–8 м.

Изменяя направление водяной струи, исходящей из насадка, добиваются различного эффекта – от смыва загрязнений до увлажнения поверхности покрытий. Для поливки покрытий насадки располагают перед машиной симметрично ее продольной оси повернутыми вверх под углом 15–20° к горизонту и развернутыми в стороны под углом 10°. Для мойки покрытий их устанавливают повернутыми вниз под углом 10–12° к горизонту и развернутыми вправо относительно продольной оси машины, чтобы загрязнения эффективно смывались с проезжей части в сторону дорожного лотка с их последующим удалением подметально-уборочным оборудованием. Этим дополнительным оборудованием в виде цилиндрической щетки со стальным или синтетическим ворсом, как правило, оснащают самоходные ПММ, что значительно расширяет их технологические возможности.

ПММ часто оснащают водяной рампой в виде распределительной горизонтальной трубы с форсунками, установленной под углом в плане 70–80° к продольной оси машины. Это оборудование обеспечивает высокую скорость водяных струй и соответственно меньший удельный расход воды по сравнению с насадочным оборудованием, но его эффективная зона обработки не превышает габаритной ширины машины.

Кроме того, в машинах используют различные конструкции и схемы установок насадков и сопел, которые обеспечивают заданное направление и давление струи воды на обрабатываемую поверхность. На рисунке 10.2 представлены различные схемы поливомоечного оборудования.

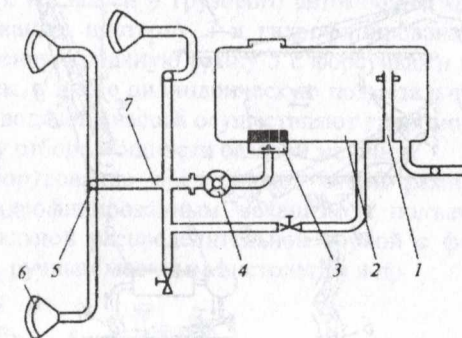


Рисунок 10.1 – Схема подачи воды в ПММ:
1 – контрольная сливная труба; 2 – цистерна;
3 – центральный клапан с фильтром; 4 – центробежный насос; 5 – разводочный насадок; 6 – насадок;
7 – напорный трубопровод

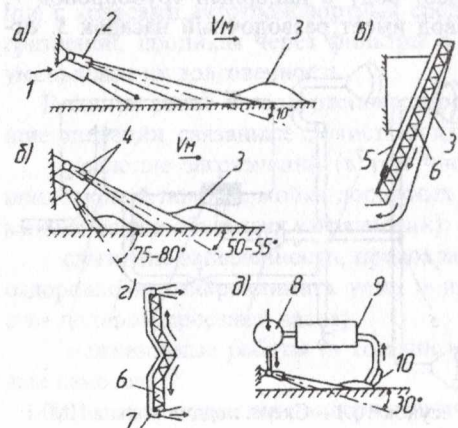


Рисунок 10.2 – Схемы устройств для интенсификации воздействия воды на покрытие:

а – газодинамическое ускорение струи воды;
б – двойная рампа с соплами;
в – телескопическая рампа;
г – рампа с боковыми форсунками;
д – устройство для регенерации воды;
1 – струя сжатого воздуха;
2 – моечный насадок; 3 – водяной вал;
4 – форсунка рампы; 5 – телескопическая рампа; 6 – мойщик сектор форсунки; 7 – боковое сопло; 8 – насос; 9 – регенератор воды; 10 – экран

Эти схемы способствуют интенсификации очистки поверхности дорожных покрытий. В их числе подача сжатого воздуха под струю воды (рисунок 10.2, а), различные конструкции водяной рампы, которые обеспечивают более эффективную очистку поверхности покрытия (рисунок 10.2, б–г), а также оборудование для повторного использования воды (рисунок 10.2, д). Давление воды в рампах достигает 2 МПа, что обеспечивает высокую скорость воды на выходе из форсунок и эффективную очистку обрабатываемой поверхности дорожного покрытия.

Прицепные поливомоечные машины обладают ограниченным набором рабочих органов. Их обычно используют только для поливомоечных операций. В таблице 10.1 представлены технические характеристики прицепных ПММ на базе МТЗ-80/82, разработанные и укомплектованные различными производителями.

Таблица 10.1 – Технические характеристики поливомоечных машин на базе МТЗ

Параметр	ПМ-3	ПО-451	МВТ-3,5
Объем цистерны, м ³	3,0	4,5	3,5
Рабочее давление, МПа	–	1,07	0,3
Ширина полосы, м:			
при мойке	4,0–6,0	5,0	5,0
при поливке	4,0–6,0	13,0	16,0
Скорость, км/ч:			
рабочая	10,0	10,0	10,0
транспортная	30,0	30,0	30,0
Число осей	1	1	1
Габариты, мм:			
длина	4200	4700	4500
ширина	2100	2200	2500

Самоходные поливомоечные машины имеют расширенные технологические возможности. Примером самоходной ПММ может служить машина модели МКДС (рисунок 10.3). На шасси 4 грузового автомобиля МАЗ устанавливают рабочее оборудование: цистерну 2 и гидрофицированный насосный агрегат для воды 9, сменную водяную рампу 5 с форсунками подачи воды под высоким давлением, а также цилиндрическую подметальную щетку 3. Привод центробежного водяного насоса осуществляют гидромотором от гидронасоса через коробку отбора мощности базовой машины.

Навесное поливомоечное оборудование представляет собой рамную конструкцию 5, оснащенную гидрофицированным механизмом подъема-опускания, гребенкой (горизонтальной распределительной трубой с форсунками), боковыми форсунками, ручным моечным пистолетом и др.

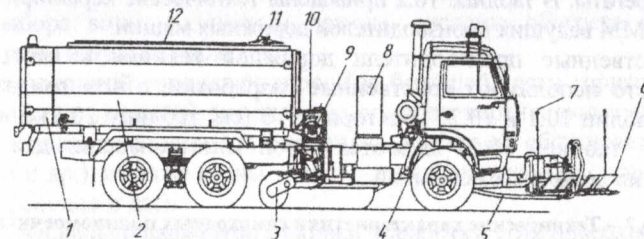


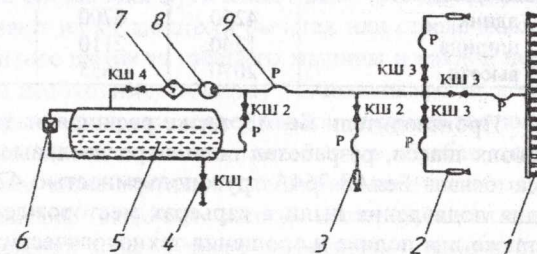
Рисунок 10.3 – Дорожная машина на шасси МАЗ:

1 – подрамник; 2 – цистерна; 3 – подметальная щетка; 4 – шасси; 5 – водяная рампа с форсунками; 6 – дефлектор; 7 – габаритный указатель; 8 – маслобак; 9 – водяной насос с гидроприводом; 10 – рабочая площадка; 11 – заливная горловина; 12 – крышка цистерны

Схема движения воды в высоконапорном агрегате машины МКДС представлена на рисунке 10.4. Воду из цистерны 5 через фильтр 7 с помощью насоса 8 подают в распределительную систему, оснащенную гребенкой 1, и затем через форсунки 1 и 2 под высоким давлением (до 2 МПа) на обрабатываемую поверхность. Моечное оборудование комплектуют моечным пистолетом 3, оснащенным единичной форсункой для ручной мойки труднодоступных поверхностей покрытий.

Рисунок 10.4 – Схема движения воды в системе поливомоечного оборудования машины:

1 – гребенка с форсунками;
2 – боковая форсунка; 3 – ручной пистолет для мойки; 4 – кран шаровой запорный; 5 – цистерна для воды; 6 – уровень воды; 7 – фильтр; 8 – водяной насос; 9 – рукав резиновый (КШ – кран шаровой; Р – рукав)



Агрегат имеет также дренажную магистраль для слива воды из цистерны через кран 4, которую также используют для заполнения цистерны водой под давлением из стационарных или других источников.

Ведущие производители дорожной техники изготавливают в основном самоходные ПММ различных типоразмеров, рабочее оборудование которых монтируют на специальных или серийных шасси. Они предназначены для выполнения довольно широкого круга различных операций, в их числе полив и мойка дорог, полив зеленых насаждений, подметально-уборочные работы, а также тушение пожаров. Как правило, машины имеют традиционный набор модульных агрегатов, который включает цистерну для воды, центробежный водяной насос, распределительную рампу с форсунками, гидропривод водяного насоса и другие агрегаты. В таблице 10.2 приведены технические характеристики самоходных ПММ ведущих производителей дорожных машин.

Отечественные производители дорожной техники в качестве шасси ПММ часто используют собственные разработки, о чем свидетельствуют данные таблиц 10.1 и 10.2. Тракторы МТЗ (см. таблицу 10.1) и автомобили МАЗ (см. таблицу 10.2) являются базой многих машин для очистки и увлажнения дорожных покрытий.

Таблица 10.2 – Технические характеристики самоходных поливомоечных машин

Параметр	Boschung Pony BSP-2	Haller-5500	Haller-9000	Muller MU SWU 10/31	KO-009
Базовое шасси	Спецшасси	Unimog U2450	Mercedes-Benz 1620	Mercedes-Benz 2222	МАЗ-6303
Мощность, кВт	—	124	150	159	243
Объем цистерны, м ³	1,45	5,5	—	—	17,0
Ширина полосы, м: при мойке	1,3–2,2	5,0	6,0	6,0	6,5
при поливке	—	20,0	20,0	6,0	20,0
Скорость, км/ч: рабочая	—	1,5–20,0	5–10	3,6–40,0	10–30
транспортная	—	80	70	70	40–80
Масса, т	3,8	12,5	17,0	24,0	30,7
Габариты, мм:					
длина	4250	6700	—	—	10000
ширина	1240	2110	—	—	2500
высота	2070	2655	—	—	3400

Производители БелАЗ также расширяют технологические возможности своих шасси, разработав поливооросительные машины на базе карьерного самосвала БелАЗ-764А грузоподъемностью 42 т. Эти машины используют для подавления пыли в карьерах месторождений полезных ископаемых, а также для полива и орошения технологических транспортных дорог открытых горных разработок. Поливооросительная машина содержит цистерну для воды вместимостью 32000 л, установленную на специальной раме,

одноступенчатый центробежный насос мощностью 32 кВт, который приводят объемным гидроприводом, состоящим из шестеренчатого насоса и гидромотора. Рабочее оборудование включает поливочную рампу, расположенную сзади по всей ширине машины и обеспечивающую 12-метровую ширину полива, лафетный ствол подачи воды (на расстояние до 60 м) спереди машины с углом полива в горизонтальной плоскости до 70°. Кроме того, машину оснащают приспособлением для распределения песка и щебня.

Еще один пример использования машин, имеющих в качестве основного агрегата цистерну с водой, — это создание зимних автомобильных дорог с ледяным покрытием. Для этих целей применяют водополивочные машины на базе двухосного автомобиля-тягача с седельным устройством (например, модели МАЗ-509А) и цистерны-полуприцепа, оснащенной вакуумным насосом для набора воды, разливным лотком, системы обогрева цистерны, пневмосистемы и пульта управления.

Помимо покрытий городских дорог (по большей части горизонтальных или с небольшим уклоном), необходимо очищать вертикальные и криволинейные поверхности различных элементов дорожной обстановки (знаков, ограждений и др.), а также стены транспортных сооружений (туннелей, мостов, путепроводов и др.).

Имеется несколько вариантов мойшей обработки этих поверхностей.

Во-первых, **поливомоечная обработка**, которую осуществляют с помощью оборудования, содержащего цистерну, насосный агрегат и систему распределения воды, например, водяную рампу с форсунками подачи воды под давлением. Подачу воды производят водяным насосом, который приводят от силовой установки базовой машины через коробку отбора мощности и другие передачи трансмиссии. Для мойки стен используют манипуляторы, на стрелах которых крепят моечный агрегат в виде поливомоечной балки с форсунками высокого давления. Водяной насос высокого давления в зависимости от степени загрязнения поверхности может дать давление воды, достигающее 120 бар. Таким оборудованием оснащают шасси грузовых автомобилей и специальные шасси.

Во-вторых, **щеточно-моечная обработка**. Специализированное оборудование для мойки элементов обстановки пути может включать щетки различного типа. Их устанавливают на качающихся рычагах или стреле манипулятора, обеспечивающих вынос щеток за габариты машины и наклон под любым заданным углом. При необходимости щетку устанавливают на поддерживающие ролики, которые копируют поверхность обрабатываемого покрытия. Наличие различных щеток позволяет качественно обрабатывать поверхности любого типа, в том числе вертикальные и криволинейные.

Щеточно-моечное оборудование включает щетку, цистерну, насосную установку и систему распределения воды, а также гидросистему управления рабочими органами. Состав комплекта оборудования зависит от давления воды.

Самое простое оборудование оснащают щетками для мойки элементов обстановки, к которым подают воду самотеком из цистерны. Как правило, для этих целей используют пневмоколесные тракторы с прицепами или полуприцепами. На рисунке 10.5 представлен рабочий орган щеточного оборудования, на который подают воду самотеком из цистерны, установленной на прицепе. Он состоит из двух цилиндрических щеток 6, которые приводят от гидромотора 1 через одноступенчатый цилиндрический редуктор 2 и цепные передачи 4. В зависимости от конфигурации обрабатываемого элемента дорожной обстановки возможны два режима работы. Во-первых, вращение щеток 6 с постоянным расположением центров их вращения (с подачей воды самотеком на обрабатываемую поверхность). Во-вторых, вращение щеток 6 одновременно с вращением коромысла 5, т. е. вращение щеток с перемещающимися (по кругу) центрами их вращения.

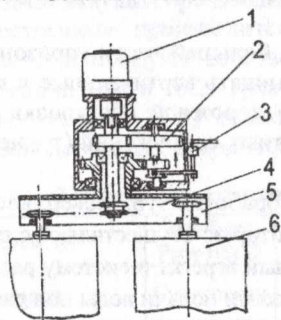


Рисунок 10.5 – Рабочий орган машины для мойки обстановки:
1 – гидромотор; 2 – редуктор;
3 – механизм переключения;
4 – цепная передача; 5 – коромысло;
6 – щетка

Более совершенное оборудование оснащают щеточными агрегатами, к которым воду подают под давлением с помощью водяного насоса. В зависимости от конфигурации обрабатываемых поверхностей их комплектуют необходимым составом рабочих органов. Один из примеров рабочего органа для щеточной мойки ограждений дороги представлен на рисунке 10.6.

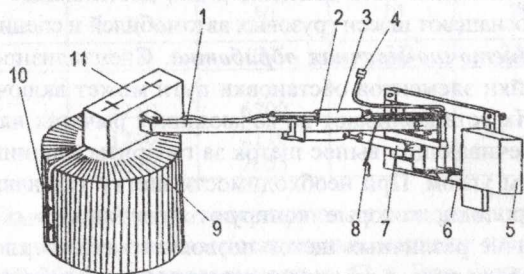


Рисунок 10.6 – Рабочий орган машины для мойки ограждений:

- 1, 2 – части стрелы; 3 – гидроцилиндр складывания; 4 – быстроразъемная гидромуфта;
5 – гидроблок; 6 – рама щетки; 7 – гидроцилиндр подъема-опускания;
8 – трос; 9 – щетка; 10 – форсунки; 11 – гидромотор

Он состоит из цилиндрической щетки 9, системы привода щетки, которая включает гидромотор 11 и силовые гидроцилиндры 3 и 7 управления ее положением, а также системы подачи воды. Рычажная система обеспечивает несколько центров вращения щетки в горизонтальной и вертикальной плоскостях, что способствует качественной обработке различных поверхностей элементов дорожной обстановки. Оборудование оснащают системой подачи воды под давлением к форсункам 10, расположенным на щетке. Давление воды задает центробежный водяной насос, который приводят гидромотором от гидронасоса через коробку отбора мощности базовой машины. Такими рабочими органами снабжают универсальные машины для круглогодичного содержания дорог и дорожной обстановки (позиция 2 на рисунке 10.7).

Одним из эффективных направлений развития техники для содержания дорожных покрытий является создание и применение универсальных машин на базе автомобильного или специального шасси, а также колесного трактора с разработкой сменных адаптеров для проведения различных дорожных работ. На рисунке 10.7 представлена схема комбинированной машины на шасси грузового автомобиля с набором легкосъемных адаптеров для круглогодичного содержания дорожных покрытий и обстановки. В числе адаптеров – поливомоечное оборудование и высоконапорный фронтальный моющий агрегат, лотковая и цилиндрическая щетки, а также другое оборудование, необходимое для сезонного переоборудования машины.

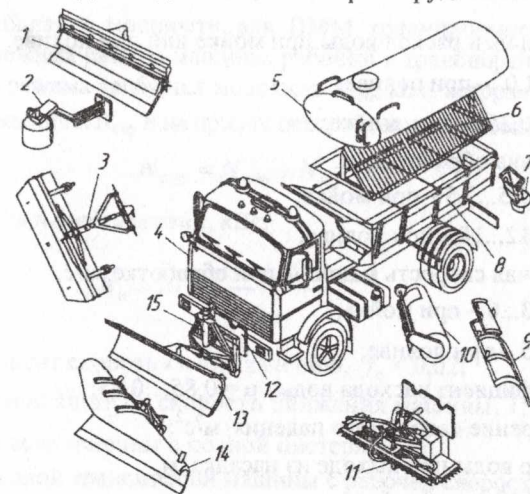


Рисунок 10.7 – Комбинированная машина для содержания дорожных покрытий:

- 1 – отвал; 2 – щетка для мойки ограждений; 3 – передняя подметальная щетка;
4 – базовое шасси; 5 – цистерна; 6 – сортирующая решетка; 7 – разбрасывающий механизм;
8 – самосвалный кузов; 9 – грейдерный нож; 10 – цилиндрическая щетка;
11 – высоконапорный моющий агрегат; 12 – монтажная плита; 13 – отвал с резиновым лемехом; 14 – скоростной отвал; 15 – подвеска

Расчет ПММ включает определение основных технических и эксплуатационных параметров, оптимальное расположение насадков на машине, тяговый расчет, баланс мощности и др. Главным параметром машины является вместимость цистерны.

Расположение насадков должно обеспечивать мойку полосы дороги заданной ширины и перемещение смытых загрязнений в сторону от очищенной полосы. Для этого составляют в масштабе схему базового шасси машины с разметкой мест установки насадков, а также формы и положения струй воды. Как правило, используют схему мойки с двумя передними и одним задним насадками (справа перед правым задним колесом). Для получения оптимальной ширины очищаемой полосы дороги расстояние между передними насадками устанавливают равным ширине машины (см. рисунок 10.4).

В ПММ используют унифицированные однотипные насадки, независимо от их назначения.

Площадь выходного отверстия насадка, м^2 , зависит от расхода воды и ее напора при выходе из насадка

$$S = 10^{-3} \frac{qBv}{\mu\sqrt{2gH}}, \quad (10.1)$$

где q – удельный расход воды при мойке или поливе, л/м^2 ,

$$q = \begin{cases} 1,0 & \text{– при поливе,} \\ 0,25 & \text{– при мойке;} \end{cases}$$

B – ширина обработки, м,

$$B = \begin{cases} 5,5 \dots 7,5 & \text{– при мойке,} \\ 12 \dots 18 & \text{– при поливе;} \end{cases}$$

v – рабочая скорость машины при обработке, м/с ,

$$v = \begin{cases} 3 \dots 6 & \text{– при мойке,} \\ 5 & \text{– при поливе;} \end{cases}$$

μ – коэффициент расхода воды, $\mu = 0,85 \dots 0,95$;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

H – напор воды при выходе из насадка, м,

$$H = \begin{cases} 40 & \text{– при мойке,} \\ 30 & \text{– при поливе.} \end{cases}$$

Как правило, значения ширины полосы и скорости обработки водой дорожных покрытий задают при проектировании.

Для оценки эффективности основной операции очистки – мойки дорожных покрытий – определяют силу смывающего воздействия водяной струи на покрытие и степень этого воздействия как отношение силы к площади обработки.

Сила удара струи воды, Н,

$$P = \frac{1}{2} \rho Q_n (1 + \cos \alpha) \sqrt{2\varphi^2 gH + v^2 + 2\varphi v \cos \beta \sqrt{2gH}}, \quad (10.2)$$

где ρ – плотность воды, кг/м^3 ;

Q_n – расход воды через моечный насадок в единицу времени, $\text{м}^3/\text{с}$;

α – угол между направлением движения струи и дорожным покрытием;

φ – коэффициент скорости насадка, $\varphi = 0,9$;

β – угол между направлениями движения струи воды и машины.

За критерий p_c ударного смывающего действия воды, $\text{Н} \cdot \text{с/м}^2$, принимают силу P , действующую на площадь покрытия в единицу времени:

$$p_c = \frac{P}{b_{\text{стр}} v}, \quad (10.3)$$

где $b_{\text{стр}}$ – ширина полосы, обрабатываемой струей воды из насадка, м.

При оценке баланса мощности для ПММ традиционного исполнения учитывают два режима работы машины: рабочий и транспортный.

Для рабочего режима требуется мощность $N_{\text{раб}}$, кВт, которая затрачивается на перемещение машины $N_{\text{пер}}$ и на привод центробежного насоса N_n :

$$N_{\text{раб}} = N_{\text{пер}} + N_n. \quad (10.4)$$

Мощность для передвижения, кВт,

$$N_n = 10^{-3} \frac{(f_c + i_y) G v}{\eta_{\text{пр}}}, \quad (10.5)$$

где f_c – коэффициент сопротивления качению, $f_c = 0,02$;

i_y – уклон, зависящий от скорости движения машины, $i_y = 0,01 \dots 0,04$;

G – сила тяжести машины с полной цистерной, Н;

$\eta_{\text{пр}}$ – КПД ходовой трансмиссии машины с рабочей скоростью.

Мощность привода центробежного водяного насоса, кВт,

$$N_n = 10^{-3} \frac{Q_n P_n}{\eta_{\text{пр}} \eta_n}, \quad (10.6)$$

где Q_n – подача насоса, м³/с;

p_n – давление, создаваемое насосом, Па;

$\eta_{пр}$ – КПД привода насоса,

η_n – гидравлический КПД насоса.

Для эксплуатации машины в рабочем режиме необходимо, чтобы выполнялось неравенство

$$N_{cy} \geq N_{раб}, \quad (10.7)$$

где N_{cy} – мощность силовой установки.

Если же необходимо решить обратную задачу, т. е. подобрать мощность силовой установки по результатам тягового расчета, можно воспользоваться выражением

$$N_{cy} = \frac{N_{раб}}{k_{сн}}, \quad (10.8)$$

где $k_{сн}$ – коэффициент снижения мощности из-за неравномерности нагрузки,
 $k_{сн} = 0,8$.

Проверку расчета мощности силовой установки машины производят для **транспортного режима**. В этом случае должно выполняться неравенство

$$N_{cy} \geq 10^{-3} \frac{(f_c + i_y) G v_{тр}}{\eta_{тр}}, \quad (10.9)$$

где $v_{тр}$ – транспортная скорость машины, м/с;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии машины при движении с транспортной скоростью.

Эксплуатационная производительность ПММ, м²/ч,

$$P_3 = 3,6 \cdot 10^3 \frac{k_b k_n V_{ц}}{q T_{ц}}, \quad (10.10)$$

где k_b – коэффициент использования машины по времени, $k_b = 0,85$;

k_n – коэффициент наполнения цистерны, $k_n = 0,90 \dots 0,95$;

$V_{ц}$ – полезная вместимость цистерны, м³;

$T_{ц}$ – продолжительность цикла использования цистерны, ч.

Цикл работы машины включает следующие стадии:

– разлив цистерны $t_{раз}$;

– ее наполнение $t_{нап}$;

– переезд машины от места работы к месту наполнения цистерны и обратно $t_{пер}$;

– вспомогательные операции $t_{всп}$.

Соответственно,

$$T_{ц} = t_{раз} + t_{нап} + t_{пер} + t_{всп}. \quad (10.11)$$

В свою очередь, **время разлива**

$$t_{раз} = \frac{k_n k_p V_{ц}}{B q v}, \quad (10.12)$$

где k_p – коэффициент учета неравномерности движения машины из-за маневрирования,

$$k_p = \begin{cases} 1,0 & \text{– при работе ночью,} \\ 1,2 & \text{– при работе днем.} \end{cases}$$

Качество выполнения мойки характеризуют **коэффициентом эффективности**

$$k_{эф} = \frac{m_{исх} - m_{обр}}{m_{исх}}, \quad (10.13)$$

где $m_{исх}$ – масса (исходная) загрязнений на покрытии до мойки, кг;

$m_{обр}$ – масса загрязнений после обработки покрытий, кг.

Обработку считают качественной, если $k_{эф} = 0,8 \dots 0,9$.

10.3 Подметально-уборочные машины

Подметально-уборочные машины (ПУМ) предназначены для удаления загрязнений (смета) с поверхности асфальто- и цементобетонных дорожных покрытий. Технологический процесс очистки покрытий включает следующие стадии:

– подметание поверхности дорожного покрытия;

– сбор загрязнений в бункер-накопитель;

– транспортирование к месту выгрузки бункера;

– разгрузка бункера;

– передвижение машины холостым ходом к месту работы.

ПУМ содержит щеточные рабочие органы и транспортирующее смет устройство, бункер для смета, механизм его опорожнения и систему обеспыливания зоны обработки покрытия.

ПУМ классифицируют по следующим основным признакам:

1) *по назначению* – подметальные, подметально-уборочные и специальные уборочные;

2) *по типу шасси* – самоходные и прицепные;

3) по типу рабочего оборудования – щеточные, комбинированные (щеточно-вакуумные и щеточно-пневматические) и бесщеточные (вакуумные и пневматические);

4) по способу транспортирования смета – механическим (только щеткой, щеткой и конвейером), струйно-щеточным, вакуумно-щеточным и струйно-вакуумным;

5) по методу обеспыливания – с влажным, термовлажным и пневматическим обеспыливанием;

6) по способу разгрузки бункера-мусоросборника – со свободной, принудительной и контейнерной разгрузкой;

7) по типу силовой установки – с ДВС (одним или двумя) и электродвигателем.

Подметальные машины очищают поверхность дорожных покрытий с перемещением загрязнений в сторону от направления движения машины без их подбора. Как правило, их применяют для подметания загородных дорог и внутридворовых территорий. В летний период их используют как поливомоечные и подметально-уборочные, в зимний – как снегоуборочные и антигололедные. Примером может служить комбинированная машина (см. рисунок 10.7).

Наибольшее распространение имеют подметально-уборочные машины, которые устанавливают на специальных и автомобильных шасси, а также на прицепах. Их применяют только в качестве подметально-уборочных машин, не переоснащая сезонным оборудованием. Они обеспечивают полный цикл уборки поверхности дорожных покрытий.

В большинстве ПУМ основным рабочим органом является щеточное устройство, состоящее из нескольких щеток различной формы – цилиндрической, торцевой и конической. У цилиндрических щеток рабочей является их цилиндрическая поверхность с радиально расположенным ворсом, достигающим в диаметре 1 м, и горизонтальной осью вращения. Торцевые (лотковые) и конические щетки имеют ось вращения, наклоненную к вертикали под небольшим углом (5–7°). При этом рабочей поверхностью лотковых щеток является их нижний торец, покрытый ворсом, а конических – их коническая поверхность. Для изготовления ворса используют тонкую стальную проволоку или синтетические волокна. Сочетание щеток различной конфигурации обеспечивает эффективную очистку дорожного покрытия и дорожной обстановки, включая придорожные лотки небольших поперечных размеров и сложной формы.

В современных конструкциях всё шире используют пластиковые «литые» щетки, в которых полипропиленовый ворс отливают как одно целое с основанием щеток. Качество очистки поверхности покрытий улучшается за счет очень точного положения ворсинок в основании щетки. Кроме того,

литые щетки обладают большей долговечностью по сравнению с традиционными конструкциями.

Цилиндрическая щетка является главным рабочим органом большинства ПУМ, с помощью которого выполняют основной объем работ по очистке дорожных покрытий.

Если смет оставляют на дороге, то цилиндрическую щетку устанавливают под углом к направлению движения машины:

- между осями машины;
- перед машиной;
- за колесами задней оси.

Эту схему используют на комбинированных машинах (см. рисунок 10.7).

Если смет собирают в бункер машины, цилиндрическую щетку устанавливают перпендикулярно направлению ее движения. Такую схему применяют на подметально-уборочных специализированных машинах. Торцевые лотковые щетки устанавливают с одной или с двух сторон машины под таким углом, чтобы ворс отбрасывал смет от края лотка к центру машины под цилиндрическую щетку. Их также используют для очистки полосы дороги у бордюров.

В некоторых моделях компактных машин используют только лотковые щетки – от одной до четырех.

Транспортирование смета в накопительный бункер производят следующими методами (рисунок 10.8).

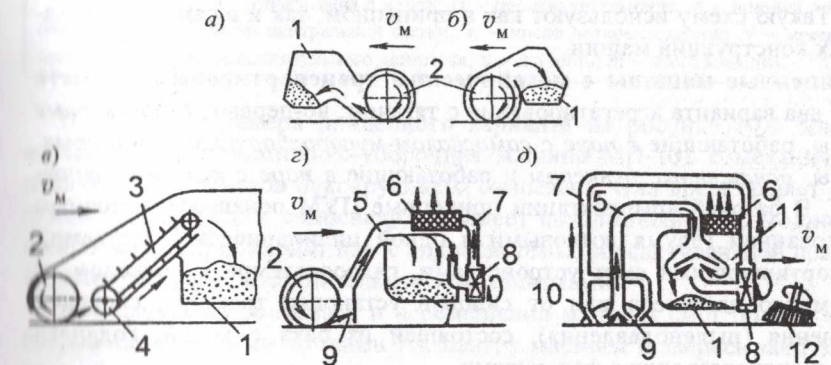


Рисунок 10.8 – Схемы рабочего оборудования подметально-уборочных машин:

а, б – с прямым и обратным забросом смета в бункер; в – со шнековым и скребковым транспортерами; г – со щеточно-вакуумным подборщиком; 1 – бункер; 2 – цилиндрическая щетка; 3 – скребковый конвейер; 4 – шнековый подборщик; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – фильтр; 7 – напорный трубопровод; 8 – вентилятор; 9 – вакуумный подборщик; 10 – дующее сопло; 11 – циклон; 12 – лотковая щетка

Во-первых, прямым или обратным забросом смета в бункер непосредственно щеткой (см. рисунок 10.8, а, б). Такую схему используют в малогабаритных машинах, в которых отсутствуют специальные устройства загрузки бункера.

Во-вторых, механической подачей смета в бункер с помощью щеток и конвейеров (ленточных, скребковых, шнековых). Эту двухступенчатую схему переноса смета используют в машинах больших типоразмеров. Например, смет при помощи цилиндрической щетки попадает (см. рисунок 10.8, в) на приемный лоток шнекового подборщика и далее по скребковому конвейеру в бункер.

В-третьих, пневмовакуумным устройством (см. рисунок 10.8, г, д), к соплу которого смет подают непосредственно щеткой (цилиндрической или торцевой), после чего по всасывающему трубопроводу он попадает в бункер. Пневмовакуумные загрузочные устройства современных ПУМ обеспечивают более высокое качество уборки и экологическую безопасность эксплуатации по сравнению с механическими системами.

Схема механической подачи смета в бункер машины благодаря простоте конструкции (см. рисунок 10.8, в) долгое время была наиболее распространенной в дорожной технике. Практически все машины с механическим сбором мусора выполняют по единой конструктивной схеме: на двухосном шасси устанавливают бункер для смета, оснащенный двумя лотковыми и одной центральной щеткой, расположенной в заднем свесе рамы. Такую схему используют как в прицепном, так и в самоходном вариантах конструкций машин.

Прицепные машины с механическим транспортированием смета имеют два варианта агрегатирования с тягачом: во-первых, *безбункерные машины, работающие в паре с самосвалом-мусоросборником*; во-вторых, *машины, оснащенные бункером и работающие в паре с колесным трактором*. В базовой комплектации прицепные ПУМ оснащают щеточным оборудованием (двумя лотковыми и одной цилиндрической щетками), транспортирующими смет устройствами, гидросистемой с приводом от автономного двигателя или от силовой установки трактора, системой увлажнения (пылеподавления), состоящей из бака с водой, водяного насоса и гидроразводки с форсунками.

Прицепные безбункерные машины, работающие в паре с тягачом-самосвалом, оснащают автономным двигателем и гидросистемой управления рабочими органами, а также центральной цилиндрической и двумя лотковыми щетками с механической (элеваторной) подачей смета в бункер. В таблице 10.3 приведены технические характеристики машины отечественного производства, а также машины из ближнего и дальнего зару-

бежья. Как видно из таблицы 10.3, машины имеют близкие технологические и технические показатели.

Таблица 10.3 – Технические характеристики прицепных безбункерных подметально-уборочных машин

Параметр	МП-101	БРОДВЕЙ-Бел	БРОДВЕЙ	Broddway Senior 2000	ПУМ-001 Магистраль	Scandia 2W
$V, \text{ м}^3$	1,2	1,15	1,2	1,1	1,25	1,15
$P, \text{ кг/мин}$	—	1200	1200	1200	1250	1200
$B, \text{ м}$	2,4–3,0	1,7–3,0	1,7–3,0	2,9	3,0	2,5–3,0
$D, \text{ мм}$	900	900	900	900	900	900
n	2	2	2	2	2	2
$N, \text{ кВт}$	60,0	60,0	60,0	62,0	45,6	63,0
$v, \text{ км/ч}$:						
$v_{\text{раб}}$	20,0	1,0–25,0	0,5–25,0	0,1–20,0	25,0	0,5–25,0
$v_{\text{тр}}$	25,0	25,0	25,0	50,0	40,0	40,0
$m, \text{ т}$	6,6	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0
Габариты, мм:						
длина	6400	7200	6700	6500	6500	6600
ширина	2500	2900	2200	2200	3150	2800
высота	3400	3750	3750	3200	2200	3550

Примечание – V – объем бака с водой; P – производительность; B – ширина полосы очистки; D – диаметр центральной щетки; n – число лотковых щеток; N – мощность силовой установки дополнительного двигателя; v – скорость; m – масса машины.

В качестве примера прицепного варианта на рисунке 10.9 показана отечественная подметально-уборочная машина МП-101 с механической подачей смета в кузов буксирующего самосвала. Она представляет собой одноосный прицеп к самосвалу, но имеет автономный ДВС мощностью 60 кВт, который приводит насос гидросистемы, обеспечивающей привод и управление всеми исполнительными механизмами.

При движении самосвала и перемещении машины смет подают двумя боковыми лотковыми щетками 7 к центру машины и забрасывают задней щеткой 6 на элеватор 2, а затем с помощью транспортера 1 загружают в кузов буксирующего самосвала. Система орошения 4 служит для увлажнения пыли во время работы машины. Плуг 8 предназначен для разрыхления слежавшегося мусора у бордюров. После загрузки самосвала машину перецепляют к другому самосвалу, обеспечивая непрерывность процесса уборки.

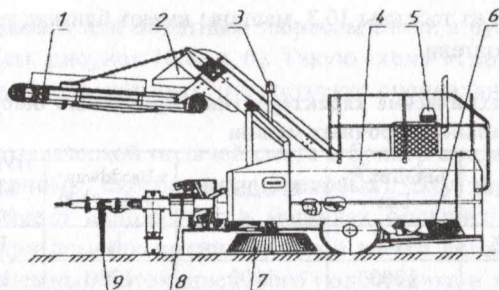


Рисунок 10.9 – Конструктивная схема прицепной подметально-уборочной машины МП-101 с механической загрузкой кузова самосвала:

1 – ленточный транспортер; 2 – скребковый элеватор; 3 – электрооборудование; 4 – система орошения; 5 – автономная силовая установка; 6 – задняя цилиндрическая щетка; 7 – боковая лотковая щетка; 8 – плуг или дополнительная щетка; 9 – дышло

Прицепные машины в паре с колесным трактором являются более компактными, поэтому их часто используют для очистки поверхностей в стесненных условиях. В таблице 10.4 представлены машины (отечественного и иностранного производства) на базе МТЗ.

Таблица 10.4 – Технические характеристики прицепных подметально-уборочных машин

Параметр	ПУП*	АПВ-4**	ПУМА	ЧистоГор	Broddway Wasa 3000	ZKT 2.0***
Q , м ³	1,8	3,2	1,8	3,0	3,0	0,2
V , м ³	1,1	–	1,1	0,85	1,1	0,2
B , м	2,0–2,6	1,9–2,1	2,2–2,5	2,7	2,3–2,9	2,0–2,3
D , мм	900	700	700	700	900	–
n	2	2	2	2	2	2
v , км/ч:						
$v_{\text{раб}}$	2–15	0,3–10,0	2–15	0,3–20,0	1–20	1–6
$v_{\text{тр}}$	25	25	25	25	25	25
m , т	6,0	7,5	6,0	6,5	6,1	2,3
Габариты, мм:						
длина	–	4800	4200	4140	4530	3510
ширина	–	1950	2200	2320	2900	2175
высота	–	2870	2530	2100	2200	2230

*Производитель Михн. РМЗ.
 **Машина имеет дополнительный ДВС мощностью 44 кВт.
 ***Машина оснащена вакуумным подборщиком.

Вариант агрегатирования подметально-уборочного оборудования с колесным трактором приведен на рисунке 10.10. В отличие от пары «самосвал – прицеп» оборудование содержит бункер для смета 7 и транспортирующий смет элеватор в виде цепного конвейера, а также набор щеток, гидросистему

управления рабочими органами (цилиндрической 3 и лотковыми 2 щётками, элеватором и бункером) и систему увлажнения.

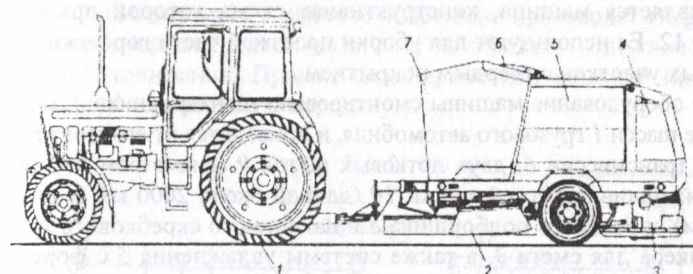


Рисунок 10.10 – Прицепное подметально-уборочное оборудование к трактору МТЗ: 1 – базовый трактор; 2 – боковые лотковые щетки; 3 – цилиндрическая щетка; 4 – водяной бак; 5 – насосная станция; 6 – крышка-лоток бункера; 7 – бункер для смета

Гидросистема машины, представленная на рисунке 10.11, включает гидронасос, который устанавливают на тракторе и приводят от вала отбора мощности, а также гидромоторы конвейера и щеток, гидроцилиндры подъема-опускания бункера и аутигеров и др. Частоты вращения лотковых щеток и главной щетки устанавливают независимо одна от другой. Гидромоторы щеток управляют электрогидрораспределителями, что обеспечивает постоянство частоты вращения щеток вне зависимости от нагрузки.

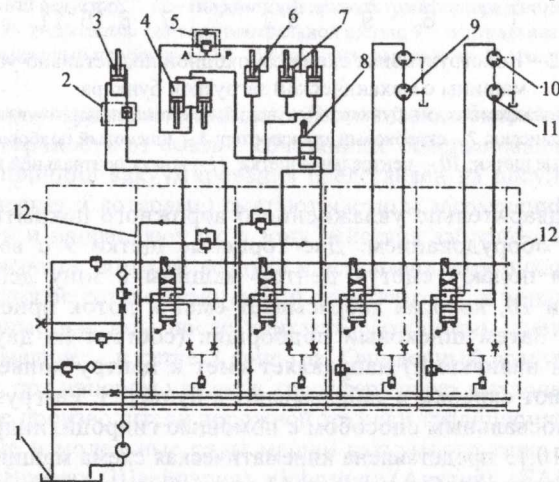


Рисунок 10.11 – Гидросхема прицепного подметально-уборочного оборудования: 1 – бак гидросистемы; 2 – гидрозамок; 3 – гидроцилиндр подъема и опускания щеток и элеватора; 4 – аутигеры; 5 – обратный клапан-предохранитель, замок; 6 – гидроцилиндр подъема шторки бункера; 7 – гидроцилиндр подъема бункера; 8 – конечный выключатель; 9 – гидромотор лотковых щеток; 10 – гидромотор элеватора; 11 – гидромотор главной цилиндрической щетки; 12 – четырехсекционный гидрораспределитель

Самоходные подметально-уборочные машины в основном имеют автомобильное или специальное шасси. Типичным примером самоходного варианта является машина, конструктивная схема которой приведена на рисунке 10.12. Ее используют для уборки проезжей части городских дорог и прилотовых участков с твердым покрытием.

Рабочее оборудование машины смонтировано на надрамнике 2, закрепленном на раме шасси 1 грузового автомобиля, и приводится от его двигателя. Оно состоит из трансмиссии 6, двух лотковых щеток 9 (диаметром 800–900 мм), центральной цилиндрической щетки 10 (длиной около 2000 мм и диаметром 600–900 мм), шнекового подборщика 8 и наклонного скребкового транспортера 7, бункера для смета 3, а также системы увлажнения 5 с форсунками, двух водяных баков и др.

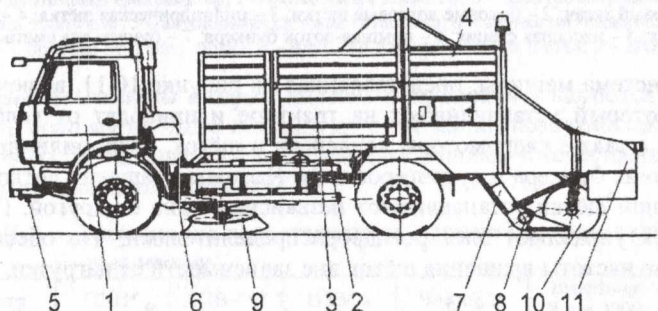


Рисунок 10.12 – Конструктивная схема самоходной подметально-уборочной машины с механической загрузкой бункера:

- 1 – шасси; 2 – надрамник; 3 – бункер; 4 – кузов; 5 – система водяного увлажнения;
6 – трансмиссия; 7 – скребковый транспортер; 8 – шнековый подборщик;
9 – лотковые щетки; 10 – центральная щетка; 11 – кожух центральной щетки

Уборку предварительно увлажненного дорожного покрытия производят щеточным оборудованием. Две торцевые щетки 9 с вертикальной осью вращения подают смет к центру машины в зону действия центральной щетки 10, которая забрасывает смет в лоток приемной части подборщика 8. Затем шнековый подборщик (состоит из двух частей с левой и правой навивками) направляет смет к центру конвейера 7, где его подхватывают скребки и забрасывают в бункер 3. Разгрузку бункера производят самосвальным способом с помощью гидроцилиндров.

На рисунке 10.13 представлена кинематическая схема машины. В состав трансмиссии входят коробка передач 13 автомобиля, коробка отбора мощности 3 и (через карданный вал) раздаточный редуктор 5. На коробке передач 13 базового шасси закреплена коробка отбора мощности 3, на одном выходном валу которой установлен насос 2 привода лотковых щеток, а другой вал связан карданным валом с раздаточным редуктором 5. На выходе

этого редуктора установлены насосы привода транспортера 6 и привода цилиндрической щетки 4. Лотковые щетки приводят гидромоторы 12, а их перевод из транспортного в рабочее положение производят гидроцилиндрами. Рычажная навеска щеток позволяет копировать дорожное покрытие с достаточной точностью. Привод цилиндрической щетки 9 производят от гидромотора 8 через цепную передачу.

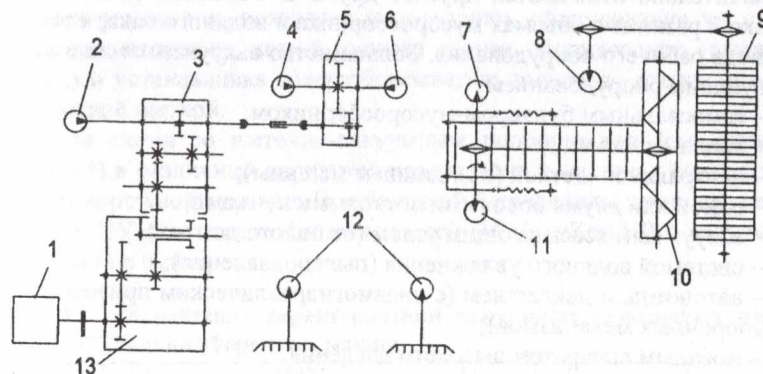


Рисунок 10.13 – Кинематическая схема машины с механической загрузкой бункера:

- 1 – двигатель базового шасси; 2, 4, 6 – гидронасосы; 3 – коробка отбора мощности;
5 – раздаточный редуктор; 7, 11 – гидромоторы привода транспортера и шнекового подборщика;
8 – гидромотор привода центральной щетки; 9 – центральная щетка;
10 – шнековый подборщик; 12 – привод лотковых щеток; 13 – коробка передач

Щеточно-вакуумные машины обеспечивают более высокое качество очистки поверхности от смета в сочетании с обеспыливанием окружающей среды. Их принцип вакуумирования представлен на рисунке 10.14. Щетки (цилиндрическая и лотковые) сметают частицы загрязнений с увлажненной поверхности и направляют их в зону действия заборного сопла. Затем частицы увлекаются потоком воздуха к всасывающему рукаву 4 за счет разрежения, которое создает вакуумный вентилятор 5, и попадают в бункер 1. Более крупные частицы после контакта с отбойным листом 2 оседают в бункере, а мелкие – в сетке 3 фильтра. Очищенный воздух, проходя через вентилятор, под напором уходит в атмосферу через выпускной патрубок 6.

Ведущие производители дорожной техники традиционно производят типоразмерные и модельные ряды машин вакуумного типа. В Европе к ним относятся «Bucher» (Швейцария), «Johnston» (Англия), «FAUN» (Германия), «Kohman» (Турция), «КОВИТ» (Чехия), в РФ – заводы «Кургандормаш» и «Коммаш» (Мценск). Например, модельный ряд оборудования VIAJET фирмы «FAUN» включает вакуумные машины с бункерами вместимостью от 4 до 12 м³. Фирма «Johnston Sweepers» оснащает свои машины бункера-

ми-мусоросборниками вместимостью от 1 до 8 м³. Столь широкая гамма машин и оборудования, обеспечивающих обработку полосы шириной от 0,5 до 4,0 м, позволяет выбрать нужную модель машины и использовать ее с максимальной эффективностью для очистки уличных объектов в стесненных условиях или автострад, взлетно-посадочных полос аэропортов и др.

Конструктивно щеточно-вакуумные машины ведущих производителей незначительно отличаются друг от друга. В основном различия сводятся только к разнице в объемах мусоросборника и водяного бака, а также к типу привода рабочего оборудования. Большинство вакуумных машин оснащают следующим оборудованием:

- самосвальным бункером-мусоросборником;
- водяным баком;
- центральной щеткой (под днищем машины);
- одной или двумя боковыми лотковыми щетками;
- вакуумным всасывающим узлом (от одного до трех);
- системой водяного увлажнения (пылеподавления);
- автономным двигателем (с пневмогидравлическим приводом для работы уборочных механизмов);
- моечным аппаратом высокого давления.

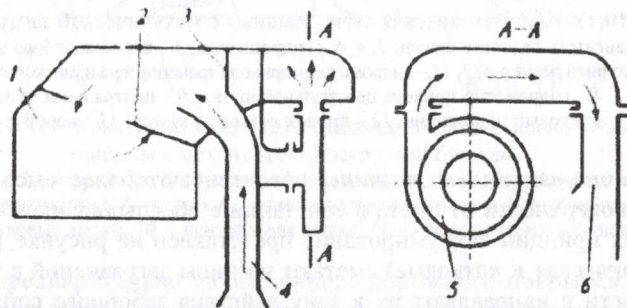


Рисунок 10.14 – Схема вакуумирования щеточно-вакуумной машины:
1 – бункер; 2 – отбойный лист; 3 – сетка; 4 – всасывающий рукав; 5 – вентилятор;
6 – выхлопной патрубок

ПУМ щеточно-вакуумного типа имеют различные виды приводов рабочего оборудования (вакуумного вентилятора и подметальных щеток). Традиционный вид – это механический привод через вал отбора мощности от силового агрегата шасси – продолжают использовать в машинах из-за небольших габаритов и невысокой стоимости. Всё большее распространение получают более эффективные силовые агрегаты: однодвигательные силовые установки (от трактора) с гидростатическим приводом рабочего оборудования, а также силовые установки с двумя двигателями, один из которых приводит рабочее оборудование и другие подсистемы машины.

Все системы управления машиной связаны между собой, данные об их работе выводят на экран монитора в кабине. Машины также оснащают телематическими устройствами, передающими информацию о режиме работы машины (подметание, маневрирование или транспортный режим) в центральный офис. Для повышения эффективности эксплуатации их могут оснащать системой навигации GPS.

Конструкции большинства машин ведущих фирм выполнены по модульному принципу, что позволяет использовать оборудование по схеме «зима – лето», например, зимой, снимая летнее оборудование (пылесос, щетки и др.) и устанавливая солеразбрасыватель вместе со снежным отвалом и межосевой щеткой.

Описанная схема со щеточно-вакуумным подборщиком (см. рисунки 10.8, а и 10.14) в различных вариантах реализована в машинах разных производителей дорожной техники. В таблице 10.5 приведены технические характеристики ПУМ на автомобильном шасси (МАЗ и КамАЗ) с вакуумной загрузкой смета в бункер.

Таблица 10.5 – Технические характеристики вакуумных самоходных подметально-уборочных машин

Параметр	AG-3265	MA3 5917B2-F10	KO-326	KO-318Д	Bucher CityFant 60	Schmidt SK-650KM
Базовое шасси	MA3-5340C2	MA3-5340B2	MA3-5337A2	КамАЗ-53605	MA3-5551 A2	MA3-5551 A2
Мощность двигателя, кВт:						
шасси	169	169	165	176	169	169
рабочего оборудования	77	–	74	77	75	62
Ширина зоны уборки, м	2,5	2,3	2,5	2,6–3,2	2,1	2,3–2,5
Вместимость, м ³ :						
бака для воды	1,2	1,2	1,2	2,2	1,5	1,5
бункера для смета	7,0	6,0	7,0	7,0	6,0	7,0
Габариты, мм:						
длина	6700	6420	6700	7000	5990	6900
ширина	2500	2550	2500	2550	2380	2500
высота	3400	3257	3400	3500	3230	3250
Скорость, км /ч:						
рабочая	2,6–8,0	2–8	2–8	2–8	2–18	2–8
транспортная	80	80	80	60	80	80
Полная масса, т	19,0	19,0	19,5	20,5	18,2	20,5

Примером щеточно-вакуумной ПУМ может служить самоходная машина (модели Bucher-CityFant) на шасси МАЗ, конструктивная схема которой представлена на рисунке 10.15. На раме автомобиля устанавливают бункер-мусоросборник вместимостью 6,0 м³, стойку с вакуумным подборщиком, вакуумный вентилятор и его привод, бак с водой и водяной насос, дополнительный двигатель рабочего оборудования и агрегаты гидросистемы.

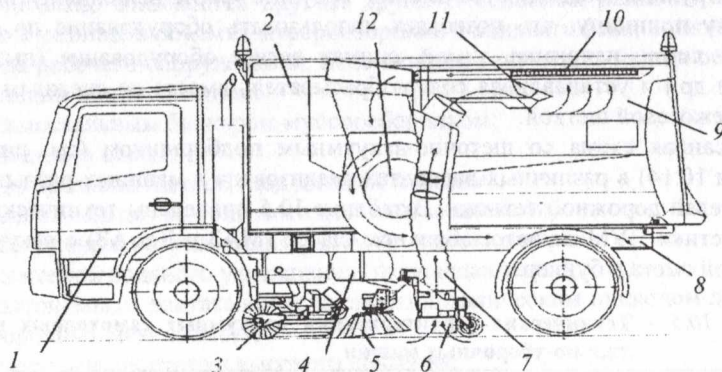


Рисунок 10.15 – Схема щеточно-вакуумной подметально-уборочной машины:
1 – базовое шасси; 2 – двигатель вакуумно-подметального оборудования; 3 – цилиндрическая щетка; 4 – водяной бак системы обеспыливания; 5 – боковая лотковая щетка; 6 – всасывающий раструб вакуумного подборщика со встроенным закрылком для подборки крупногабаритного мусора; 7 – эластичный всасывающий экран; 8 – напорный канал для выброса воздуха; 9 – бункер; 10 – фильтрующий экран; 11 – направляющая пластина и дефлектор; 12 – вакуумный вентилятор

Машина имеет следующие рабочие органы: центральную цилиндрическую 3 и две торцевых лотковых 5 щетки; вакуумное оборудование, состоящее из подборщика (с всасывающим соплом 6, эластичным рукавом 7 и резиновыми изолирующими зону обработки фартуками) и вакуумного вентилятора 12; бункер-мусоросборник 9 с отбойным щитом, фильтром 10 и механизмом его разгрузки; напорный воздухопровод и систему обеспыливания с водяным насосом и форсунками.

Цилиндрическая 3 и боковые лотковые 5 щетки подают смет в зону действия всасывающего сопла подборщика 6, разрежение в котором создает вакуумный вентилятор 12. Частицы смета через эластичный рукав 7 поступают на направляющую пластину и дефлектор 11, а затем в бункер 9. Вакуумный вентилятор установки отсасывает воздух из бункера через канал, соединенный с фильтром 10, и направляет очищенный воздух по напорному каналу 8 в атмосферу.

Все агрегаты машины приводят двигатель несущего шасси и дополнительный автономный двигатель вакуумно-подметального оборудования 2. Двигатель несущего шасси помимо своего основного назначения приводит электрогидравлическую систему управления бункера (его подъема-опускания и разгрузки). Дополнительный двигатель обеспечивает функционирование гидропривода вакуумного вентилятора и подметальных щеток, электрогенератора и компрессора.

Важным показателем эффективности и экологической безопасности ПУМ является система фильтрации и регенерации воздуха, используемого как для первичного транспортирования частиц смета, так и для последующей подачи очищенного воздуха на щетки машины. Современные системы рекуперации воздуха машин ведущих производителей не только задерживают более 50 % частиц дисперсностью менее 50 мкм, но и существенно снижают уровень шума машин.

Один из вариантов конструктивной схемы вакуумного подборщика (рисунок 10.16) содержит всасывающее сопло 11 с рукавом 6 и цилиндрическую щетку 9. Степень разрежения регулируется заслонкой 3, перекрывающей сечение сопла. Зазор между передней стенкой 2 и обрабатываемой поверхностью дороги регулируется положением стенки. Положение заслонки и передней стенки зависит от загрязненности поверхности (количества и состава смета). Подъем и опускание подборщика производят гидроцилиндром 7, в рабочем положении подборщик опирается на колеса 1, которые обеспечивают соплу 11 постоянный клиренс. Цилиндрическую щетку устанавливают на штанге 5, закрепленной на передней стенке 2, и приводят во вращение гидромотором 10.

На рисунке 10.17 представлена гидросхема подметально-уборочной машины с вакуумным подборщиком. Гидросистема имеет три контура: позиционирования рабочих органов, привода щеток и привода водяного насоса.

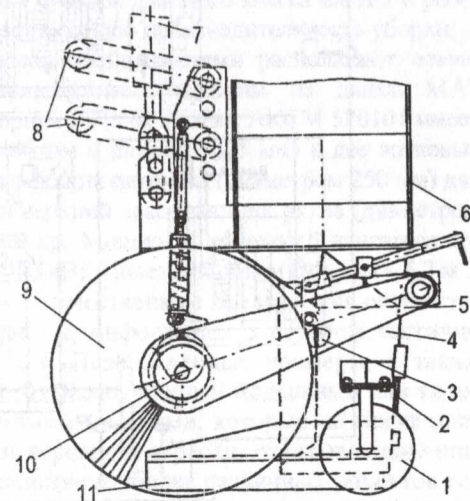


Рисунок 10.16 – Схема вакуумного подборщика:

1 – опорное колесо; 2 – передняя стенка сопла; 3 – заслонка; 4 – корпус сопла; 5 – штанга; 6 – рукав; 7 – гидроцилиндр; 8 – кронштейны; 9 – цилиндрическая щетка; 10 – гидромотор; 11 – всасывающее сопло

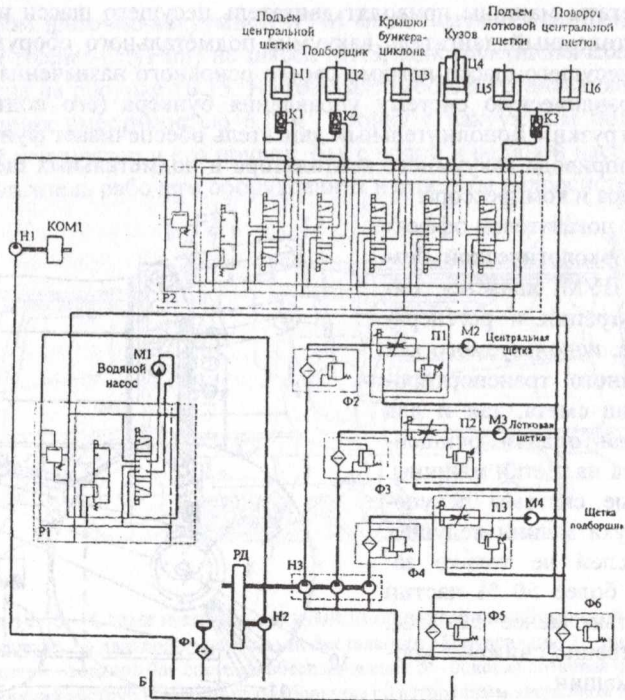


Рисунок 10.17 – Гидросхема вакуумно-подметальной машины:

Б – маслобак; К1–К3 – гидрозамки; М1–М4 – гидромоторы;
Н1–Н3 – насосы; П1–П3 – пропорциональные регуляторы; Р1, Р2 – гидрораспределители;
РД – раздаточный редуктор; Ц1–Ц6 – гидроцилиндры управления рабочим оборудованием;
Ф1–Ф6 – фильтры

Помимо представленных полноразмерных машин, в том числе, так называемых «магистральных», производители дорожной техники выпускают малогабаритные машины, оснащенные только лотковыми щетками (от одной до четырех). На рисунке 10.18 представлена схема машины струйно-вакуумного действия, которая располагает подметально-всасывающим узлом, состоящим из лотковой щетки 1 и системы вакуумирования, которая включает автономный двигатель 8, вакуумный вентилятор 7, напорный и всасывающий воздуховоды. Забор частиц смета осуществляют по схеме «сдув – всасывание» за счет напорного 9 и всасывающего 4 каналов. Всасывающий узел оснащают парой опорных колес 3, которые копируют профиль дорожного покрытия, и обеспечивают его качественную очистку.

Отечественные предприятия выпускают отдельные модели перечисленных ранее типов машин: некоторые – самостоятельно, некоторые – в кооперации с производителями комплектующих других стран. Диапазон их парамет-

ров довольно широк – от малогабаритных машин до полноразмерных. В их числе малогабаритная вакуумная машина ММК 2000, которая предназначена для очистки объектов городской инфраструктуры. Наличие шарнирно-сочлененной рамы и гидростатический привод всех колес обеспечивают радиус поворота всего 1,5 м и высокую маневренность в стесненных условиях. При этом машина имеет регулируемую ширину обработки от 1,6 до 2,3 м, что в сочетании с довольно большим объемом бункера для этого класса машин и рабочей скоростью до 15 км/ч обеспечивает высокую производительность уборки.

Более широкими технологическими возможностями располагают отечественные полноразмерные щеточно-вакуумные машины на шасси МАЗ (АГ-3265, АКСМ 520101 и др.). Например, ПУМ модели АКСМ 520101 имеет одну цилиндрическую (диаметром 406 мм и длиной 1275 мм) и две лотковые щетки (диаметром 650 мм), два всасывающих патрубка (диаметром 250 мм) для очистки дорожных покрытий и один верхний всасывающий рукав (диаметром 150 мм) для очистки ливневок, урн и др. Мощность основного двигателя составляет 167 кВт, дополнительного – 66 кВт. Полезный объем бункера – 5,7 м³.

Помимо этих самоходных машин отечественные предприятия осуществляют выпуск прицепного оборудования, информация о котором частично представлена в таблицах 10.3 и 10.4. Перечисленные примеры, а также другие отечественные машины не составляют единый модельный или типоразмерный ряд, а являются единичными моделями, которые не могут полностью удовлетворить потребности дорожной отрасли, охватывающие широкий спектр дорожных работ по очистке и уборке различных объектов городской и промышленной инфраструктуры, что вынуждает импортировать некоторые виды машин.

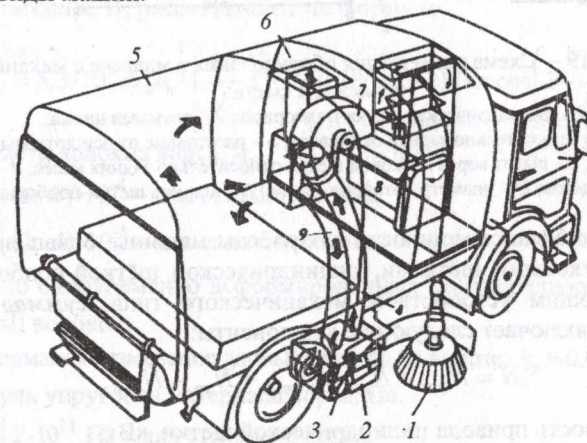


Рисунок 10.18 – Схема машины струйно-вакуумного действия:

1 – лотковая щетка; 2 – всасывающее сопло; 3 – опорное колесо; 4 – всасывающий канал;
5 – бункер-мусоросборник; 6 – фильтр; 7 – вентилятор; 8 – дополнительный двигатель;
9 – отводной канал

Расчет ПУМ включает выбор способа очистки и основных агрегатов базовой машины, оценку параметров взаимодействия рабочих органов с дорожным покрытием, тяговые расчеты, определение баланса мощности, расчеты систем транспортирования смета, его обеспыливания и разгрузки и др.

Для машины с механической (щеточной) очисткой покрытий и двухступенчатым переносом смета в бункер на рисунке 10.19 представлен вариант компоновки рабочего оборудования. По установочным размерам считают целесообразными следующие рекомендации: вылет a принимают минимальным в зависимости от конструкции транспортера смета и шасси; $b = a$; $c = 150 \dots 250$ мм; $d > 30$ мм; $D = 600 \dots 1000$ мм; длину щетки L принимают минимальной в зависимости от диаметра лотковых щеток D ; ширину полосы очистки принимают $B = 1,8 \dots 2,5$ м. Перед подборщиком устанавливают устройство для транспортирования смета в бункер (на рисунке 10.19 не указаны).

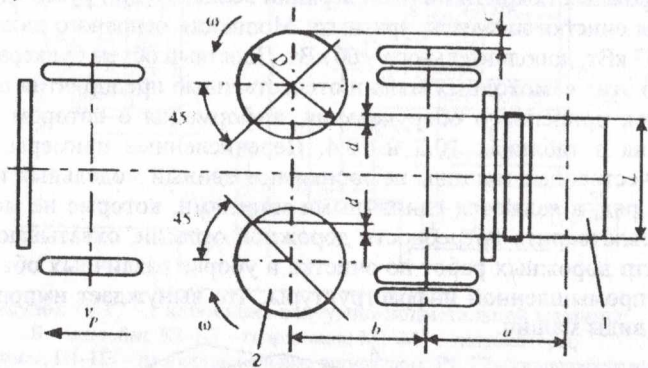


Рисунок 10.19 – Схема размещения оборудования в машине с механическим удалением смета:

1 – цилиндрическая щетка-подборщик; 2 – лотковая щетка;

a – вылет щетки относительно задней оси шасси; b – расстояние от оси лотковых щеток до задней оси шасси; c – вылет ворса лотковой щетки относительно задних колес; d – перекрытие следов щеток; D – диаметр лотковых щеток; L – ширина щетки-подборщика

При расчете баланса мощности для работы машины, оснащенной одной или двумя лотковыми щётками, цилиндрической щёткой-подборщиком и транспортирующим устройством механического типа, **суммарная мощность N** , кВт, включает следующие компоненты:

$$N = N_{\text{щц}} + N_{\text{лщ}} + N_{\text{нас}} + N_{\text{тр}} + N_{\text{пер}}, \quad (10.14)$$

где $N_{\text{щц}}$ – мощность привода цилиндрической щетки, кВт;

$N_{\text{лщ}}$ – мощность привода лотковой щетки, кВт;

$N_{\text{нас}}$ – мощность привода водяного насоса;

$N_{\text{тр}}$ – мощность привода транспортирующего устройства (механического или пневматического действия), кВт;

$N_{\text{пер}}$ – мощность привода хода машины, кВт.

Мощность привода цилиндрической щетки, кВт,

$$N_{\text{щц}} = N_{\text{трэн}} + N_{\text{деф}}, \quad (10.15)$$

где $N_{\text{трэн}}$ – мощность для преодоления сил трения ворса щетки о дорожное покрытие, кВт;

$N_{\text{деф}}$ – мощность, необходимая для деформации ворса, кВт.

Мощность для преодоления сил трения, кВт,

$$N_{\text{трэн}} = 10^{-3} \frac{\mu_{\text{в}} W_{\text{пр}} (v_{\text{ф}} + v_{\text{щ}})}{\eta_{\text{щ}}}, \quad (10.16)$$

где $\mu_{\text{в}}$ – коэффициент трения ворса о дорожное покрытие,

$$\mu_{\text{в}} = \begin{cases} 0,35 \dots 0,40 & \text{для стального ворса,} \\ 0,40 & \text{для синтетического ворса;} \end{cases}$$

$W_{\text{пр}}$ – сила прижатия ворса к обрабатываемой поверхности, Н;

$v_{\text{ф}}$ – фактическая скорость машины, м/с;

$v_{\text{щ}}$ – окружная скорость конца ворса, м/с;

$\eta_{\text{щ}}$ – КПД привода щетки.

Силу прижатия, Н, рассчитывают по формуле

$$W_{\text{пр}} = 5,3 \cdot 10^2 dz_{\text{в}} h_{\text{в}}^{\frac{1}{3}} \left(\frac{EJ}{L} \right)^2 [1 + 0,18(v_{\text{щ}} - 2)] \arccos \left(1 - \frac{h_{\text{в}}}{R_{\text{щ}}} \right), \quad (10.17)$$

где d – диаметр волокна ворса, м,

$$d = \begin{cases} (4 \dots 5) \cdot 10^{-4} & \text{для стального ворса,} \\ (2 \dots 4) \cdot 10^{-3} & \text{для синтетического;} \end{cases}$$

$z_{\text{в}}$ – число одновременно деформированных (контактирующих с покрытием) волокон;

$h_{\text{в}}$ – деформация (изменение длины) волокна по высоте, $h_{\text{в}} = 0,010 \dots 0,025$ м;

E – модуль упругости материала ворса, Па,

$$E = \begin{cases} 2 \cdot 10^{11} \text{ Па} & \text{для стального ворса,} \\ 2 \cdot 10^9 \text{ Па} & \text{для синтетического ворса;} \end{cases}$$

J – осевой момент инерции сечения ворсинки, м⁴;

L – свободная длина ворсинки, м;

$R_{\text{ш}}$ – радиус щетки, м.

Число одновременно деформированных ворсинок

$$z_b = \frac{5,5b_n}{b_b d} \frac{v_\phi}{v_{\text{ш}}}, \quad (10.18)$$

где b_n – ширина полосы обработки щеткой, м;

β_b – угол поворота ворсинки от вертикального положения при контакте с покрытием, рад.

Соотношение скоростей $\left(\frac{v_\phi}{v_{\text{ш}}}\right)$ выбирают в зависимости от типа и состояния цилиндрической щетки.

Для новой щетки:

$$\frac{v_\phi}{v_{\text{ш}}} = \begin{cases} 0,50 & \text{– с прямым забросом,} \\ 0,29 & \text{– с обратным забросом.} \end{cases}$$

Для изношенной щетки:

$$\frac{v_\phi}{v_{\text{ш}}} = \begin{cases} 0,83 & \text{– с прямым забросом,} \\ 0,22 & \text{– с обратным забросом.} \end{cases}$$

Угол поворота, ворсинки, рад, определяют из выражения

$$\beta_b = \arccos \frac{R_{\text{ш}} - h_b}{R_{\text{ш}}}.$$

Мощность, необходимая для деформации ворса, кВт,

$$N_{\text{деф}} = 0,26 \cdot 10^{-7} z_b \frac{n^2}{d} \sqrt{h_b} \frac{EJ}{l} \psi, \quad (10.19)$$

где n – частота вращения, принимают $n = 100 \text{ мин}^{-1}$;

$$\psi = \arcsin \frac{(R_{\text{ш}} - h_b) \sqrt{3(2R_{\text{ш}} h_b - h_b^2)}}{R_{\text{ш}}(R_{\text{ш}} - 2)}.$$

Мощность привода лотковой щетки $N_{\text{лщ}}$ в инженерных расчетах определяют по формулам (10.15)–(10.19), по которым рассчитывают привод цилиндрической щетки.

Мощность привода водяного насоса, кВт,

$$N_{\text{нас}} = 10^{-3} \frac{Qp}{\eta_{\text{нас}} \eta_{\text{об}}}, \quad (10.20)$$

где Q – расход воды через систему увлажнения, м³/с;

p – давление в системе, Па;

$\eta_{\text{нас}}$ – КПД передачи от двигателя к насосу;

$\eta_{\text{об}}$ – объемный КПД насоса, $\eta_{\text{об}} = 0,65 \dots 0,75$.

Расход воды (м³/с)

$$Q = qb_{\text{увл}} v_\phi, \quad (10.21)$$

где q – удельный расход воды на увлажнение, кг/м²,

$$q = \begin{cases} 0,025 \dots 0,035 & \text{– при средней запыленности,} \\ 0,035 \dots 0,055 & \text{– при большой запыленности;} \end{cases}$$

$b_{\text{увл}}$ – ширина полосы увлажнения, м,

$$b_{\text{увл}} = (1,1 \dots 1,2)b, \quad (10.22)$$

b – ширина очищаемой полосы, м.

Мощность привода транспортирующего устройства, кВт,

$$N_{\text{тр}} = N_{\text{шн}} + N_{\text{к}}, \quad (10.23)$$

где $N_{\text{шн}}$ – мощность привода шнекового подборщика, кВт;

$N_{\text{к}}$ – мощность привода скребкового конвейера, кВт.

Мощность привода шнека, кВт,

$$N_{\text{шн}} = \frac{1,1}{\eta_{\text{шн}}} P_{\text{шн}} L, \quad (10.24)$$

где $P_{\text{шн}}$ – производительность шнека, т/ч;

L – длина пути перемещения смета в машине, м;

$\eta_{\text{шн}}$ – КПД привода шнека.

Производительность шнека, т/ч,

$$P_{\text{шн}} = 47 \psi_3 s_{\text{шн}} n_{\text{шн}} D_{\text{шн}}^2, \quad (10.25)$$

где ψ_3 – коэффициент заполнения шнека сметом, $\psi_3 = 0,2 \dots 0,3$;

$s_{\text{шн}}$ – шаг шнека, м;

$n_{\text{шн}}$ – частота вращения шнека, мин⁻¹;

$D_{\text{шн}}$ – диаметр шнека, м.

Частота вращения шнека, мин^{-1} , зависит от его диаметра:

$$n = \frac{30}{\sqrt{D_{\text{шн}}}}. \quad (10.26)$$

Мощность привода конвейера, кВт,

$$N_k = 10^{-3} \frac{W_k v_k}{\eta_k}, \quad (10.27)$$

где W_k – сопротивление движению цепи конвейера, Н;

v_k – рабочая скорость конвейера, м/с;

η_k – КПД привода конвейера.

Сопротивление движению цепи конвейера, Н, определяют из выражения

$$W_k = 1,25[(f_k q_k + f_{\text{см}} q_{\text{см}}) L_k \cos \beta + q_{\text{см}} H], \quad (10.28)$$

где f_k – коэффициент трения смета по стали, $f_k = 0,12$;

q_k – удельная сила тяжести конструкции конвейера, Н/м;

$f_{\text{см}}$ – коэффициент сопротивления движению цепи конвейера, $f_{\text{см}} = 0,6$;

$q_{\text{см}}$ – удельная нагрузка от перемещаемого конвейером смета, Н/м;

L_k – длина конвейера, м;

β – угол наклона конвейера;

H – высота подъема смета, м.

Мощность, необходимая для перемещения машины, кВт,

$$N_{\text{пер}} = 10^{-3} \frac{(f_c + i_y) G_{\text{пум}} v_m}{\eta_{\text{тр}}}, \quad (10.29)$$

где f_c – коэффициент сопротивления качению, $f_c = 0,02$;

i_y – уклон, $i_y = 0,01 \dots 0,04$;

$G_{\text{пум}}$ – сила тяжести машины с полным бункером, Н;

v_m – рабочая скорость машины, м/с;

$\eta_{\text{тр}}$ – КПД ходовой трансмиссии машины.

Мощность силовой установки машины должна превышать мощность, расходуемую на приводы агрегатов машины в рабочем режиме,

$$N_{\text{сy}} \geq N = N_{\text{щц}} + N_{\text{лщ}} + N_{\text{нас}} + N_{\text{тр}} + N_{\text{пер}}. \quad (10.30)$$

Приведенные расчеты относятся к щеточно-вакуумному рабочему оборудованию и механической схеме транспортирования смета в бункер с увлажнением дорожного покрытия (см. рисунки 10.8, в и 10.10).

Для машины со щеточно-вакуумным рабочим оборудованием на рисунке 10.20 представлен вариант расположения рабочего оборудования. В большинстве подобных машин центральную щетку располагают между осями колёс с возможностью поворота (по отношению к поперечной оси машины) на угол $\pm 15^\circ$. Для достижения высокой производительности машины ее оснащают бункером для смета с максимально возможной вместимостью.

Баланс мощности для щеточно-вакуумного рабочего оборудования и вакуумной схемы обеспыливания и транспортирования смета в бункер (см. рисунки 10.8, г и 10.12) включает следующие компоненты:

$$N_{\text{сy}} \geq N = N_{\text{щц}} + N_{\text{лщ}} + N_{\text{вак}} + N_{\text{пер}}. \quad (10.31)$$

Мощность привода вакуумного вентилятора, кВт,

$$N_{\text{вак}} = 10^{-3} \frac{Q_v P_v}{\eta_{\text{об}} \eta_{\text{пр}}}, \quad (10.32)$$

где Q_v – расход воздуха, обеспечиваемый вентилятором, $\text{м}^3/\text{с}$;

P_v – давление (разрежение) воздуха на входе в вентилятор, Па;

$\eta_{\text{об}}$ – объемный КПД вентилятора;

$\eta_{\text{пр}}$ – КПД привода вентилятора.

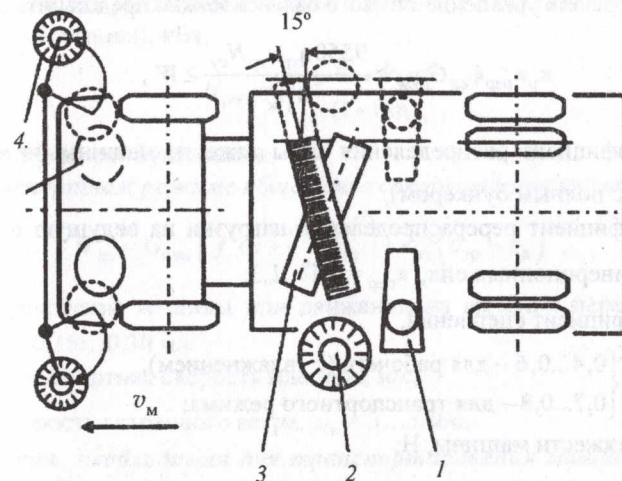


Рисунок 10.20 – Схема размещения рабочего оборудования машины со щеточно-вакуумным подборщиком смета:

1 – вакуумный подборщик; 2 – боковые лотковые щетки; 3 – центральная цилиндрическая поворотная щетка; 4 – передние лотковые щетки; 5 – кабина с двухсторонним расположением рулевого управления

Расход воздуха, м³/с,

$$Q_a = \frac{\kappa_{\text{зап}} q_{\text{з}} b v_m}{\mu_k \rho_{\text{вп}}}, \quad (10.33)$$

где $\kappa_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса;

μ_k – коэффициент допустимой концентрации твердых частиц в воздушном потоке, $\mu_k = 0,05 \dots 0,10$;

$\rho_{\text{вп}}$ – плотность воздуха в вакуумном подборщике, кг/м³.

Плотность воздуха в вакуумном подборщике, кг/м³,

$$\rho_{\text{вп}} = \rho_{\text{в}} \frac{p_a - p_{\text{п}}}{p_a}, \quad (10.34)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³;

p_a – атмосферное давление, Па;

$p_{\text{п}}$ – давление (разрежение) воздуха в вакуумном подборщике, Па.

Для проверки правильности выбора двигателя машины используют результаты тягового расчета. Кроме того, его результаты можно использовать для решения обратной задачи – определения мощности силовой установки по величине суммарной силы сопротивления движению машины.

В тяговом расчете уравнение тягового баланса можно представить в виде

$$\kappa_p \kappa_{\text{пер}} \Phi_{\text{сц}} G_{\text{пум}} \geq \frac{9550 \eta_{\text{тр}} u_{\text{тр}} N_{\text{сч}}}{n_d r_k} \geq W, \quad (10.35)$$

где κ_p – коэффициент распределения силы тяжести машины на ведущую ось (с полным бункером);

$\kappa_{\text{пер}}$ – коэффициент перераспределения нагрузки на ведущую ось с учетом инерционных сил, $\kappa_{\text{пер}} = 1,1 \dots 1,3$;

$\Phi_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления,

$$\Phi_{\text{сц}} = \begin{cases} 0,4 \dots 0,6 & \text{– для рабочего (с увлажнением),} \\ 0,7 \dots 0,8 & \text{– для транспортного режима;} \end{cases}$$

$G_{\text{пум}}$ – сила тяжести машины, Н;

$\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии;

$u_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии;

n_d – частота оборотов вала двигателя, мин⁻¹;

r_k – радиус ведущего колеса, м.

Общую силу сопротивления движению машины W оценивают для рабочего и транспортного режимов.

В рабочем режиме общая сила сопротивления движению, Н,

$$W_{\text{раб}} = G_{\text{пум}} \left(f + i + \frac{a_{\text{нп}}}{g} \delta_{\text{вр}} \right) + \kappa_{\text{ат}} (P_{\text{ц}} + P_{\text{к}}), \quad (10.36)$$

где f – коэффициент сопротивления качению колес; $f = 0,02$;

i – уклон дороги, $i = 0,07 \dots 0,09$;

$a_{\text{нп}}$ – ускорение машины при движении на низких передачах,

$$a_{\text{нп}} = 1,7 \dots 2,0 \text{ м/с}^2;$$

$\delta_{\text{вр}}$ – коэффициент учета вращающихся масс,

$$\delta_{\text{вр}} = 1 + 0,05 (1 + i^2) \frac{G_{\text{пум}}}{G_{\text{ф}}};$$

$\kappa_{\text{ат}}$ – коэффициент аэродинамического торможения, $\kappa_{\text{ат}} = 1,8 \dots 3,6 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$;

$P_{\text{ц}}$, $P_{\text{к}}$ – вертикальные силы взаимодействия цилиндрической и конической шеток с дорогой, Н;

$G_{\text{ф}}$ – сила тяжести машины с фактической загрузкой бункера и цистерны, Н.

Мощность для реализации рабочего процесса машины (с учетом возможности буксования), кВт,

$$N_{\text{раб}} = 10^{-3} \frac{W_{\text{раб}} v_{\text{раб}}}{(1 - \delta) \eta_{\text{тр}}}, \quad (10.37)$$

где δ – коэффициент буксования.

В транспортном режиме общая сила сопротивления движению, Н,

$$W_{\text{тр}} = G_{\text{пум}} \left(f + i + \frac{a_{\text{вп}}}{g} \delta_{\text{вр}} \right) + \kappa_{\text{ат}} (v_{\text{тр}} - v_{\text{в}})^2, \quad (10.38)$$

где $a_{\text{вп}}$ – ускорение машины при движении на высоких передачах, $a_{\text{вп}} = 0,15 \dots 0,30 \text{ м/с}^2$;

$v_{\text{тр}}$ – транспортная скорость машины, м/с;

$v_{\text{в}}$ – скорость встречного ветра, $v_{\text{в}} = 3 \dots 5 \text{ м/с}$.

Мощность, необходимая для транспортирования машины (с учетом буксования), кВт,

$$N_{\text{тр}} = 10^{-3} \frac{W_{\text{тр}} v_{\text{тр}}}{(1 - \delta) \eta_{\text{тр}}}. \quad (10.39)$$

Далее после сопоставления $N_{\text{раб}}$ и $N_{\text{тр}}$ выбирают наибольшую мощность, по которой подбирают двигатель машины.

Для экспресс-оценки и оперативного подбора мощности можно в формулы (10.37) и (10.39) вместо сил сопротивления $N_{\text{раб}}$ и $N_{\text{тр}}$ подставить силы тяги по сцеплению из выражения (10.35).

Для определения производительности машины необходимо знать объемы емкостей для смета и воды.

Вместимость бункера для смета, м^3 , зависит от ширины полосы очистки b и скорости рабочего движения машины $v_{\text{раб}}$. Ее находят по формуле

$$V_6 = \frac{q_3 b v_{\text{раб}} t_n}{K_n \rho_{\text{см}}}, \quad (10.40)$$

где q_3 – норма загрязненности дорожного покрытия, $\text{кг}/\text{м}^2$,

$$q_3 = 0,10 \dots 0,15 \text{ кг}/\text{м}^2;$$

$v_{\text{раб}}$ – рабочая скорость при очистке покрытия, $\text{м}/\text{с}$,

$$v_{\text{раб}} = \begin{cases} 3,3 \dots 4,0 & \text{– вне прилотовой зоны,} \\ 0,8 \dots 2,5 & \text{– в прилотовой зоне;} \end{cases}$$

t_n – время наполнения бункера сметом, равное или кратное продолжительности смены, с , $t_n = 4 \cdot 3600 \text{ с}$;

K_n – коэффициент наполнения бункера сметом, $K_n = 0,85 \dots 0,90$;

$\rho_{\text{см}}$ – плотность смета, $\text{кг}/\text{м}^3$,

$$\rho_{\text{см}} = \begin{cases} 800 \dots 1100 & \text{– для опавших листьев,} \\ 1100 \dots 1500 & \text{– для грунта и песка.} \end{cases}$$

Вместимость бака для воды, м^3 , системы обеспыливания зависит от вместимости бункера и ширины полосы увлажнения, которая должна быть шире полосы очистки на 10–20 %. Вместимость оценивают по формуле

$$V_{\text{вб}} = \frac{q b_{\text{увл}} v_{\text{раб}} t_o}{K_{\text{нв}} \rho_{\text{в}}}, \quad (10.41)$$

где t_o – время опорожнения бака с водой, равное или кратное времени наполнения бункера сметом, с ($t_o = t_n$);

$K_{\text{нв}}$ – коэффициент наполнения бака водой, $K_{\text{нв}} = 0,90 \dots 0,95$;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Эксплуатационная производительность, ПУМ, $\text{м}^2/\text{ч}$, как машины циклического действия зависит от вместимости бункера V_6 и времени цикла подметания $T_{\text{ц}}$ дорожного покрытия:

$$P_{\text{ц}} = \frac{3600 K_{\text{в}} K_n \rho_{\text{см}} V_6}{q_3 T_{\text{ц}}}, \quad (10.42)$$

где $K_{\text{в}}$ – коэффициент использования машины по времени, $K_{\text{в}} = 0,85$.

Цикл очистки состоит из стадий подметания, заправки водяного бака, опорожнения бункера для смета, пробега к месту опорожнения бункера и заправки бака и маневрирования при выгрузке смета:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{под}} + t_{\text{зап}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{ман}}. \quad (10.43)$$

Время непрерывного подметания, с ,

$$t_{\text{под}} = \frac{K_n \rho_{\text{см}} V_6}{q_3 b v_{\text{м}}}. \quad (10.44)$$

Время заправки бака, с ,

$$t_{\text{зап}} = \frac{K_{\text{нв}} V_{\text{вб}}}{q_{\text{зап}}}, \quad (10.45)$$

где $q_{\text{зап}}$ – расход магистрали, заполняющей водой бак, $\text{м}^3/\text{с}$.

Время пробега к месту опорожнения бункера и заправки бака и обратно

$$t_{\text{пр}} = \frac{L_{\text{тр}}}{v_{\text{тр}}} + \frac{L_{\text{тр}}}{v_{\text{п}}}, \quad (10.46)$$

где $L_{\text{тр}}$ – расстояние до места выгрузки смета и заполнения бака, м ;

$v_{\text{тр}}$ – скорость груженой машины, $\text{м}/\text{с}$;

$v_{\text{п}}$ – скорость порожней машины, $\text{м}/\text{с}$.

Время, затрачиваемое на маневрирование и выгрузку смета, $t_{\text{ман}} = 300 \text{ с}$.

10.4 Техника для ухода за зелеными насаждениями

Зеленые насаждения являются эффективным средством укрепления насыпей и откосов, а также защиты автомобильных дорог от снежных заносов. Их содержание включает следующие основные работы:

- посев и скашивание травы;
- посадка и выкапывание деревьев и кустарника;
- обрезка крон деревьев и стрижка кустарника.

Для механизации работ по уходу за зелеными насаждениями используют сельскохозяйственную технику, машины общего назначения со стандартным или специальным сменными рабочими органами, а также специализированные машины и оборудование.

10.4.1 Оборудование для формирования газонов

Газоны в городских условиях, наряду с защитными, имеют и санитарные функции, задерживая пыль и отработанные газы, а также регулируя температуру и влажность воздуха. Кроме того, дерновой слой способствует укреплению склонов и откосов автомобильных дорог.

Имеется несколько способов формирования газонов, в их числе следующие:

- подготовка поверхности почвы и посев семян газонных трав;
- подготовка поверхности почвы и посев семян в составе специальных растворов (гидропосев);
- подготовка поверхности почвы для одерновки и раскладки рулонной дернины.

Создание газона начинается с подготовки основания, которая включает рыхление почвенного слоя плодородной земли толщиной 12–20 см.

Для выполнения этих работ используют механизмы и оборудование, агрегируемые с тракторами и мотоблоками.

Для подготовки почвы под посев семян трав применяют навесные почвенные фрезы, которые навешивают на малогабаритные тракторы, а также самоходные агрегаты, в том числе мотофрезы. Их оснащают фрезерными барабанами, оснащенными секциями режущих ножей, количество которых зависит от типоразмера агрегата.

Для посева семян газонных трав используют прицепные и навесные сеялки, агрегируемые с тракторами. На рисунке 10.21 представлена конструктивная схема типичной газонной сеялки, которую навешивают на малогабаритный трактор типа Т-25.

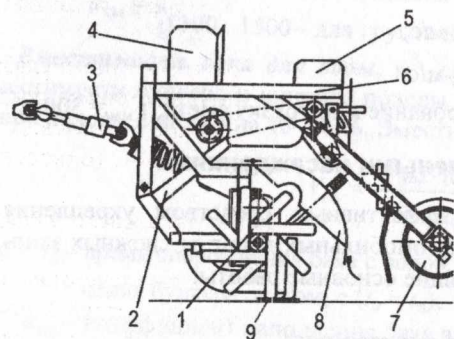


Рисунок 10.21 – Сеялка газонная:

- 1 – фреза; 2 – рама фрезы;
- 3 – карданная передача;
- 4 – бункер для удобрений;
- 5 – бункер для семян;
- 6 – рама машины;
- 7 – прикатывающий ролик;
- 8 – кожух; 9 – опорная плита

Сеялку приводят от ВОМ трактора через карданную передачу 3. Она содержит фрезу 1 для рыхления почвы, бункеры 4 и 5 для удобрений и семян, а также прикатывающий ролик 7 для заделки удобрений и семян. Бункеры оснащены ворошителями с приводом от прикатывающего ролика и регули-

ровочными приспособлениями для управления дозировкой высева семян и размещения удобрений. Сеялку также используют в качестве навесной фрезы для рыхления грунта после демонтажа ролика 7 и бункеров 4 и 5.

Формирование газонов гидропосевом состоит в одновременном внесении в почву при помощи гидроподачи семян газонных трав и пленкообразующих эмульсий, создающих благоприятные условия для всхода семян. В качестве пленкообразующего материала используют различные материалы, обеспечивающие формирование тонкой защитной пленки, в их числе битумная эмульсия, синтетические олигомеры и полимеры.

Для создания газонов методом гидропосева используют гидросеялки, которые в основном монтируют на базе поливочных машин. К основным агрегатам относятся рама, цистерна с лопастной мешалкой, гидронасос с системой трубопроводов и гидропушка с набором сменных насадок. В цистерну заливают воду и пленкообразующую эмульсию, а также подают мульчу и семена газонной травы. Затем при помощи мешалки обеспечивают однородность полученной смеси, которую под давлением подают в гидропушку и распыляют на подготовленную почву. Конструкция гидропушки и набор насадок обеспечивают регулирование расхода смеси, дальность ее выброса и ширину зоны обработки.

Эффективным средством укрепления склонов и откосов дорог является сочетание посева семян газонных трав и применения георешеток из синтетических материалов, которые выполняют армирующие и дренажные функции, особенно на время развития дернового слоя.

Георешетки в общем случае различают по следующим основным признакам:

- по природе синтетического материала – полиэфирные, арамидные, полипропиленовые и полиэтиленовые;
- по назначению – для укрепления откосов и склонов, армирования слабых оснований, предотвращения трещинообразования в асфальтобетонном покрытии, противозрозийной защиты, укрепления берегов водоемов и каналов;
- по структуре – объемные (геосоты, геоячейки) и плоские (одноосные и двухосные);
- по способу изготовления – текстильные гибкие (тканевого типа) и жесткие (сотового типа).

Одноосная георешетка (геосетка) представляет собой плоскую одноосно ориентированную в продольном направлении полимерную сетку. С помощью одноосной георешетки создают устойчивые откосы с большим углом заложения.

Двухосная георешетка представляет собой плоскую сетку из синтетического материала, растянутую в продольном и поперечном направлениях.

Плоские георешетки изготавливают в виде рулонного материала или в виде матов.

Объемная (трехмерная) георешетка (геосоты) представляет собой сотовую ячеистую конструкцию из синтетических лент, скрепленных между собой в шахматном порядке. Наличие перфорации в стенках ячеек способствует свободному проникновению корней растительного покрова сквозь отверстия ячеек и обеспечивает устойчивую связь георешетки с зелеными насаждениями.

Опыт отечественных и зарубежных предприятий по укреплению откосов и склонов дорог свидетельствует о широких технологических возможностях совместного использования травяного газона и георешеток.

10.4.2 Косилки

Спектр работ по уходу за зелеными насаждениями достаточно широк, несмотря на сезонный характер. Наиболее распространенной и трудоемкой операцией является скашивание травы и подрезка кустов. Для этих работ используют косилки и косилки-кусторезы.

Полноразмерные косилки классифицируют по следующим основным признакам:

- по *типу* размеру – с малой шириной захвата (до 0,65 м), средней (до 1,3 м) и большой (свыше 1,3 м);
- по *типу движителя базового энергосредства* – гусеничные и пневмоколесные (на шасси трактора или автомобиля);
- по *способу агрегатирования с базовым трактором* – прицепные и навесные (с манипулятором и без него);
- по *типу режущего аппарата* – плоско-вращательного, вращательно-цилиндрического и возвратно-поступательного действия;
- по *типу навески рабочего органа* – фронтальная (спереди), сбоку между осями и позади трактора;
- по *количеству роторных дисков* – одно- и многодисковые;
- по *типу стрелы манипулятора* – секционные и телескопические;
- по *виду управления* – с ручным и дистанционным управлением.

Все типы косилок содержат режущий рабочий орган и систему его привода, опорную конструкцию, систему управления косилкой и базовым энергосредством, а также предохранительный кожух. На рисунке 10.22 представлены основные конструктивные схемы режущих элементов косилок.

Косилки имеют рабочие органы, которые осуществляют подпорное (опорное) и бесподпорное резание. Подпорное резание характеризуется наличием двух ножей, один из которых срезает стебель травы, а другой служит опорой. Бесподпорное резание реализуют при помощи ножа, вращающегося с большой частотой (опорный нож отсутствует).

Плоско-вращательный режущий аппарат (см. рисунок 10.22, а) осуществляет бесподпорное резание, что требует большой частоты вращения режущего элемента (1400–1500 об/мин). В качестве режущего элемента используют нож или несколько ножей, установленных на роторе,

которые вращаются вокруг вертикальной или наклонной оси. Газонокосилки на их основе имеют ширину захвата в пределах 0,35–0,70 м. Критическая скорость резания составляет 40–43 м/с, оптимальная – находится в пределах 60–90 м/с.

Вращательно-цилиндрический режущий аппарат (см. рисунок 10.22, б) производит подпорное резание с помощью неподвижного противорежущего ножа, к которому подводят срезаемое растение спиральные ножи 4, установленные на барабане 3. Газонокосилки с вращательно-цилиндрическими режущими элементами разделяют на безмоторные и моторные. В безмоторных косилках барабан вращается под действием силы тяги, которая возникает при сцеплении ходовых колес с опорной поверхностью. Силу тяги может создавать оператор или специальный тягач. В моторных косилках в основном используют ДВС.

Аппарат с возвратно-поступательным движением режущих элементов (см. рисунок 10.22, в) производит подпорное срезание растений за счет взаимодействия отдельных режущих ножей (сегментов), установленных на специальной полосе, которая совершает возвратно-поступательное движение, и противорежущих ножей (пластин), расположенных на опорном брус. Этот принцип используют в основном для скашивания травы на больших площадях.

В косилках для ухода за дорожными зелеными насаждениями в основном используют бесподпорное резание, которое реализуют при помощи плоско-вращательного режущего аппарата роторного типа (см. рисунок 10.22, а).

Отечественная промышленность выпускает разнообразное косильное оборудование, в основном, навесного типа, которое крепится позади пневмоколесного трактора, обеспечивая правостороннее окашивание. Наиболее распространенным базовым трактором является МТЗ. С этим трактором агрегируют косилки не только отечественного, но и зарубежного производства. Трехточечное унифицированное крепление на тракторе навес-

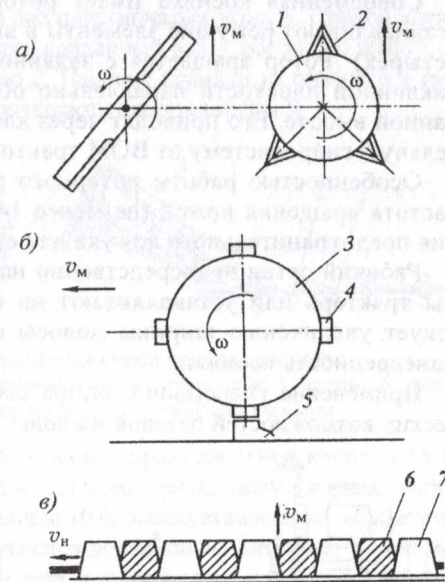


Рисунок 10.22 – Схемы режущих элементов: а – плоско-вращательный; б – вращательно-цилиндрический; в – агрегат с возвратно-поступательным движением ножей; 1 – ротор; 2, 7 – режущие ножи; 3 – барабан; 4 – спиральный нож; 5, 6 – противорежущие ножи; v_m – скорость машины; v_n – скорость режущего ножа

ного оборудования сокращает время на его монтаж и обеспечивает надежное закрепление.

Современная косилка имеет роторный рабочий орган, на котором устанавливают режущие элементы в виде пластинчатых ножей (двух или четырех). Ротор вращается с заданной частотой в горизонтальной или наклонной плоскости параллельно обрабатываемой поверхности на заданной высоте. Его приводят через клиноременную передачу и дополнительную гидросистему от ВОМ трактора.

Особенностью работы роторного рабочего органа является большая частота вращения ножей (не менее $1400\text{--}1500\text{ мин}^{-1}$), что требует наличия предохранительного кожуха для его безопасной эксплуатации.

Рабочий орган непосредственно навешивают на тяги навесной системы трактора или устанавливают на стреле манипулятора, что способствует увеличению ширины полосы скашивания травы и обеспечивает маневренность косилки.

Применение гидроманипулятора способствует расширению технологических возможностей базовой машины. На рисунке 10.23 представлена схема

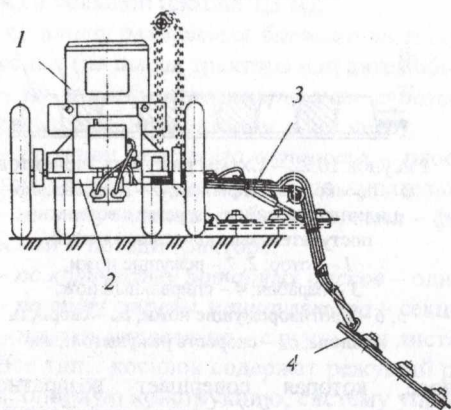


Рисунок 10.23 – Схема оборудования для скашивания откосов:

1 – базовый трактор; 2 – рама манипулятора;
3 – манипулятор; 4 – косилка

полосы скашивания. Ведущие производители оборудования для ухода за зелеными насаждениями выпускают модельные ряды с широким диапазоном изменения ширины скашивания газонов. Например, компания «Twose» производит косилки, модельный ряд которых насчитывает около 50 единиц с вылетом стрелы от 1,0 до 6,5 м. В косилках используют от одного до пяти роторов в зависимости от объемов работ. Их устанавливают или непосредственно на трактор, или на гидроманипулятор.

На рисунке 10.24 приведена схема привода косилки, которую навешивают на тяги навесной системы трактора. Она имеет четыре рабочих ротора 7, на каждом из которых установлено по два пластинчатых ножа 8. Привод косилки осуществляют от ВОМ трактора через карданный вал 3, обгонную муфту, клиноременную передачу 10 и редуктор 2. Перевод косилки из рабочего в транспортное положение и обратно обеспечивают гидроцилиндры 9.

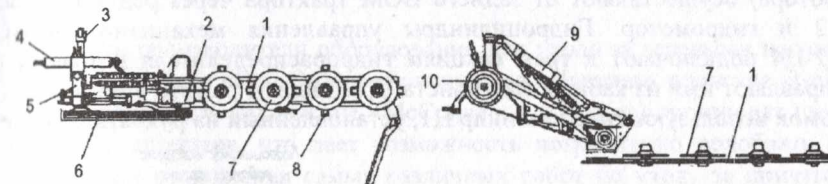


Рисунок 10.24 – Конструктивная схема привода косилки:

1 – полотно косилки; 2 – редуктор; 3 – карданный вал; 4 – кронштейн; 5 – стойка; 6 – кожух;
7 – ротор; 8 – нож; 9 – гидроцилиндр; 10 – ременная передача

В таблице 10.6 приведены технические характеристики косилок на базе трактора МТЗ, разработанных и выпущенных различными отечественными производителями. Как видно из таблицы 10.6, эксплуатационные характеристики косильного оборудования различаются довольно значительно, при этом изменение количества режущих элементов, т. е. роторов с ножами (от одного до пяти), мало отражается на рабочей скорости или производительности косилок. Как правило, манипуляторные навесные косилки имеют дополнительное сменное оборудование, например, дисковые пилы, канавоочистители, стригущие головки, ямобуры и др.

Таблица 10.6 – Технические характеристики косилок на базе трактора МТЗ

Параметр	Л-501Д	КРН-1,8 М	КРН-2,1	К-78М	ОРС-30.02	КДПД	КДД-3	КДД-5А
Ширина захвата, м	1,9	1,9	2,1	1,6	1,3	1,2	1,3	2,0
Производительность, га/ч	1,48	2,75	2,9	0,3	–	1,8	2,5	3,6
Рабочая скорость, км/ч	До 8	До 8	До 15	До 5	До 10	До 15	До 20	До 20
Количество: роторов ножей на роторе	2 2	2 4	4 2	3 2	1 2	1 2	3 2	5 2
Габариты:								
длина	3650	3380	1640	7070*	5500*	5500*	5150*	5150*
ширина	1050	940	4270	2500	2500	2800	500	2500
высота	1150	1270	1000	2700	3200	3200	2200	2800
Масса, кг	430	440	600	850	300	–	–	–

* Размеры в агрегате с трактором.

Гидросистема косилки, как правило, состоит из гидрооборудования трактора (насос Н1 и др.) и гидрооборудования косилки (насос Н2 и др.) и служит для обеспечения работы гидроцилиндров механизма навески и привод рабочего органа. Косилка представляет собой навесное оборудование, монтируемое на колесном тракторе типа МТЗ. На рисунке 10.25 представлена гидросхема косилки модели КРД-1,5. Привод рабочего органа (ротора) осуществляют от заднего ВОМ трактора через редуктор, насос Н2 и гидромотор. Гидроцилиндры управления механизмом навески Ц2-Ц4 подключают к трем секциям гидрораспределителя Р трактора и управляют ими из кабины машиниста. Для защиты рабочего органа от поломок используют гидроцилиндр Ц1, установленный на рукояти и вилке.

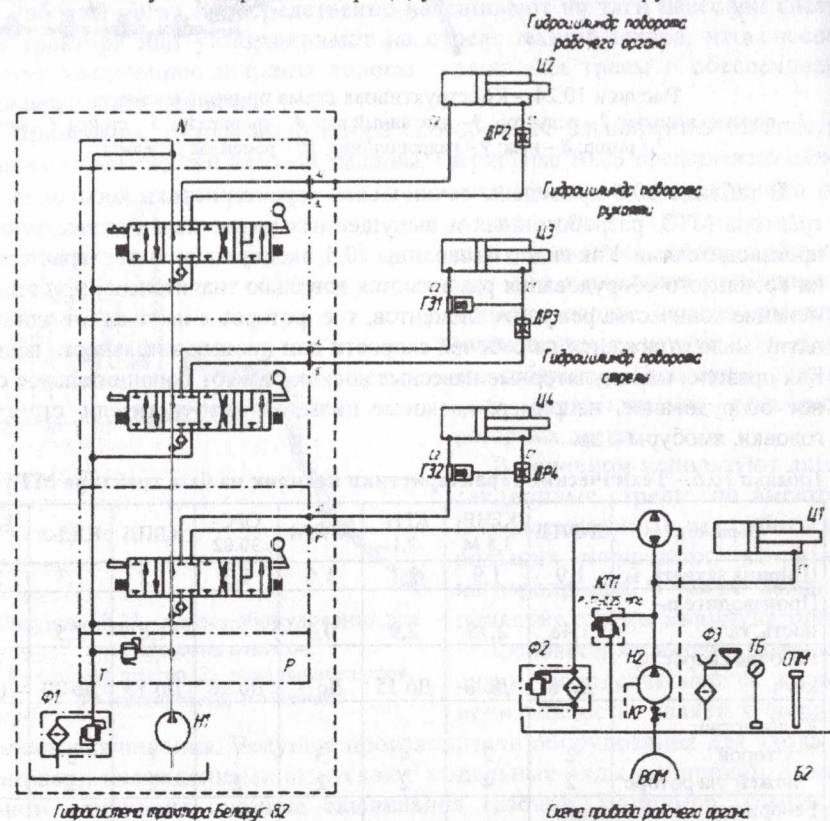


Рисунок 10.25 – Гидросхема навесной роторной косилки:

Б1, Б2 – баки с рабочей жидкостью; ВОМ – вал отбора мощности трактора; ГЗ1, ГЗ2 – гидрозамки; ДР-ДР4 – дроссели; КП1 – предохранительный клапан; КР – кран; Н1, Н2 – насосы; Р – гидрораспределитель; СПМ – сепаратор патронный магнитный; ТБ – термометр; Ф1-Ф3 – фильтры

Косилки-кусторезы, способные спиливать мелколесье, снабжают режущими головками, оснащенными дисковыми пилами. Так, сменный кусторез КД-1,5 (производства Кохановского экскаваторного завода) оснащают двумя горизонтально вращающимися дисковыми пилами диаметром 800 мм, которые срезают деревья диаметром до 10 см. Более мощные машины, например, комплексы ВМКД-6943 (производства ПТП «Урал»), способны срезать деревья толщиной до 25 см.

Ведущие производители оборудования для ухода за зелеными насаждениями (итальянская «Orsi Group», французская «Noremat», японская «Iseki», немецкая «Karcher», английские «McConnel» и «Twose») производят широкую гамму агрегатов, что дает возможность потребителю подобрать инструмент для выполнения самых различных работ по уходу за прилегающими к дороге территориями.

В качестве примера можно привести навесные агрегаты английской компании «McConnel». Модельный ряд косилок этой компании включает более 50 машин. Он охватывает диапазон по мощности от 15 кВт (для модели Power Arm 32) до 96 кВт (для модели Power Arm 8999M). При этом благодаря различным вариантам крепления их можно устанавливать с любой стороны трактора, т. е. не только сзади или спереди, но и сбоку. Косилки этой компании оснащены энергосберегающими системами безопасности, в том числе аварийной гидравлической системой, блоком регулировки дальности вылета стрелы без постоянной подстройки высоты рабочего органа, системой отвода стрелы при наезде на препятствие, блоком автоматической обработки контуров поверхности в горизонтальной плоскости и др.

Новое поколение косилок представляет собой самоходные роботизированные системы, которыми можно управлять с помощью пульта дистанционного управления. В частности, разработаны малогабаритные самоходные гусеничные (например, модели LX1000 и KM5000) и пневмоколесные (Robo Flail one и Robo Flail vario) машины, которые работают при помощи дистанционного управления там, где невозможно или невыгодно применение стандартных методов обработки газона – в труднодоступных местах и на крутых склонах.

Помимо полноразмерных косилок на базе пневмоколесных тракторов используют самоходные косилки для окашивания газонов, прилегающих к дорожному полотну, с шириной захвата 0,35–0,50 м, рабочим органом которых является плоско-вращательный нож. В составе таких косилок – двигатель (в основном ДВС карбюраторного типа), трансмиссия, несущая рама, режущий аппарат, опорная система, включающая ходовое оборудование, кожух и элементы управления. Мощность двигателя составляет 3–4 кВт, масса 25–65 кг.

На рисунке 10.26 приведена типичная кинематическая схема привода газокосилки с плоско-вращательным режущим аппаратом. Нож 5 получает вращение от двигателя 1 через фрикционную муфту и вертикальный вал 4. Привод

ходовых колес 8 осуществляют через клиноременную передачу 3, червячный редуктор 6 и цепную передачу 7. На валу червячного колеса устанавливают кулачковую муфту (включения самохода) и ведущую звездочку втулочно-роликовой цепи, передающей крутящий момент на ходовые колеса.

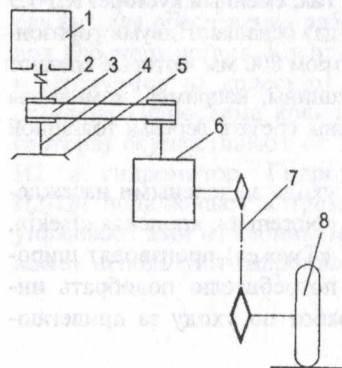


Рисунок 10.26 – Кинематическая схема привода косилки:
1 – двигатель; 2 – ведущий шкив;
3 – клиноременная передача; 4 – приводной вал; 5 – плоско-вращательный нож; 6 – червячный редуктор; 7 – цепная передача; 8 – ведущее ходовое колесо

плоско-вращательный нож 5 и рукоятку управления 2 (рисунок 10.27).

Вентилятор 6 нагнетает воздух через коллектор 4 в несущую камеру 1 в виде круга с нижней отбортовкой, выполняющей функции опорного элемента. При этом в полости камеры создается избыточное давление, которое приподнимает косилку над обрабатываемой поверхностью на высоту 7–8 мм. Оператор приводит во вращение нож 5 от приводного вала 7 включением муфты сцепления и управляет косилкой при помощи рукоятки 2. Плоско-вращательный нож обеспечивает бесподпорное резание газонной травы с шириной захвата 500 мм.

В основном используют колесные самоходные и несамоходные косилки. Скользящие опоры в виде полозьев применяют, как правило, на косилках, навешиваемых на мотоагрегаты. Опоры на воздушной подушке применяют в основном для косилок с ручным управлением.

Моторные косилки применяют на ровных площадках и откосах дорог с небольшим уклоном, в качестве рабочего органа используют режущие ап-

Опорная система косилок включает ходовую систему и раму, на которой устанавливают ходовое оборудование и другие узлы.

В косилках используют колесные и скользящие опоры, а также опоры на воздушной подушке. Газонокосилку на воздушной подушке используют для скашивания обыкновенных газонов, а также газонов на склонах с уклоном до 45° . Ручная косилка содержит корпус, нижняя часть которого является несущей камерой 1, двигатель 3 (от бензомоторной пилы), коллектор 4 для забора воздуха, центробежный вентилятор 6,

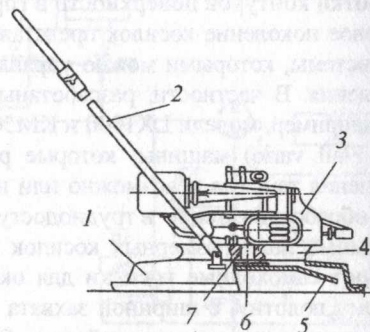


Рисунок 10.27 – Косилка на воздушной подушке:
1 – несущая камера; 2 – рукоятка управления;
3 – двигатель; 4 – коллектор;
5 – нож; 6 – вентилятор; 7 – приводной вал

параты плоско-вращательного и возвратно-поступательного действия. На рисунке 10.28 представлена схема одного из вариантов косилки на базе мотоблока. Ее оснащают двигателем (мощностью 3,63 кВт), трансмиссией, содержащей коробку перемены передач, рабочим органом возвратно-поступательного действия, одноосной тележкой и системой управления.

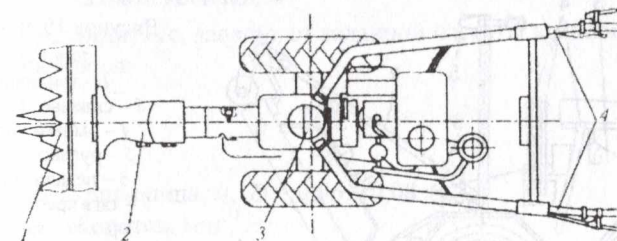


Рисунок 10.28 – Моторная косилка:
1 – режущий аппарат; 2 – трансмиссия; 3 – силовая установка; 4 – рукоятки управления

В режущем аппарате возвратно-поступательного действия (рисунок 10.29, а) использован метод подпорного резания. Аппарат производит подпорное резание растений при взаимодействии режущих ножей (пальцев 5), установленных на опорной полосе 3, которая совершает возвратно-поступательное движение, и неподвижных противорежущих пластинок 6. Палец (рисунок 10.29, б) состоит из режущего сегмента и противорежущей пластинки 6, прикрепленной к опорной пластине прижимным устройством 2.

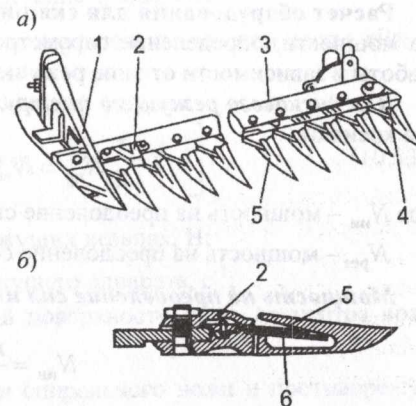


Рисунок 10.29 – Режущий аппарат моторной косилки:
а – общий вид; б – палец; 1 – башмак;
2 – прижимное устройство; 3 – опорная полоса;
4 – направляющая ножевой головки;
5 – палец; 6 – противорежущая пластинка

Более широкими технологическими возможностями и производительностью располагают самоходные двухосные косилки, один из вариантов которых представлен на рисунке 10.30. Газонокосилка содержит двигатель 3 с коробкой передач, режущий аппарат, систему управления 4–6, трансмиссию и др. Режущий аппарат 8 имеет два рабочих ротора, на каждом из которых установлено по два пластинчатых ножа.

Крутящий момент от двигателя 3 (мощностью 7,2 кВт) передается через коробку передач, муфту и редуктор на режущий агрегат, а также через диффе-

ренциал на ведущие задние колеса. Перевод косилки из рабочего в транспортное положение и обратно обеспечивает рычажное устройство. Ширина захвата составляет 1 м.

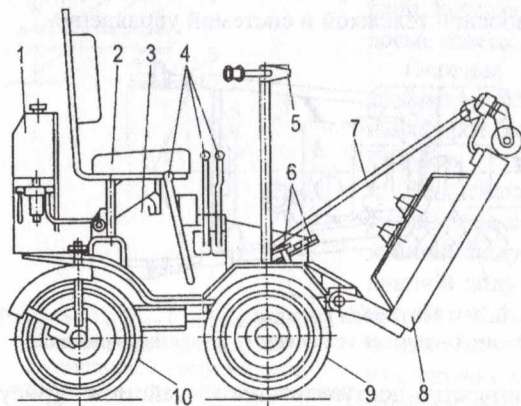


Рисунок 10.30 – Самоходная косилка:

- 1 – топливный бак;
- 2 – сиденье; 3 – двигатель;
- 4 – рычаги управления;
- 5 – рулевое управление;
- 6 – педали управления;
- 7 – тяга крепления рабочего органа в транспортном положении; 8 – режущий аппарат; 9 – ведущее колесо; 10 – поворотное колесо

Расчет оборудования для скашивания травы включает оценку баланса мощности, определение параметров режущего элемента и режимов его работы в зависимости от типа режущего аппарата.

Для дискового режущего инструмента общая мощность на привод ножа косилки

$$N_{\text{пр}} = N_{\text{ин}} + N_{\text{рез}}, \quad (10.47)$$

где $N_{\text{ин}}$ – мощность на преодоление сил инерции ножа, кВт;

$N_{\text{рез}}$ – мощность на преодоление сопротивления резанию, кВт.

Мощность на преодоление сил инерции, кВт,

$$N_{\text{ин}} = \frac{m\omega^3 r^2}{102g}, \quad (10.48)$$

где m – масса ножа, кг;

ω – угловая скорость вращения кривошипа, рад/с;

r – радиус кривошипа, м.

Частота оборотов эксцентрика составляет 700–800 мин⁻¹.

Мощность на сопротивление резанию, кВт,

$$N_{\text{рез}} = 10^{-3} P v, \quad (10.49)$$

где P – сила сопротивления резанию, Н;

v – скорость резания, м/с.

В свою очередь *силу сопротивления резанию* P , Н, находят из выражения

$$P = k_p B_3, \quad (10.50)$$

где k_p – коэффициент удельного сопротивления резанию, $k_p = 750$ Н/м;

B_3 – ширина захвата косилки, м.

Скорость резания, м/с, зависит от заданной частоты вращения рабочего органа и его размеров:

$$v = \frac{\pi D n}{60}, \quad (10.51)$$

где D – диаметр кривошипа, м, $D = 0,06 \dots 0,08$ м;

n – частота оборотов, мин⁻¹.

Для вращательно-цилиндрического режущего органа мощность привода для срезания и транспортирования зеленой массы определяют по формуле

$$N_{\text{пр}} = N_{\text{ср}} + N_{\text{тр}}, \quad (10.52)$$

где $N_{\text{ср}}$ – мощность, затрачиваемая на срезание травы, кВт;

$N_{\text{тр}}$ – мощность, затрачиваемая на транспортирование зеленой массы, кВт.

Мощность на резание, кВт,

$$N_{\text{ср}} = 10^{-3} \frac{k_p \omega r_{\text{ц}}}{\sin \chi_{\text{к}}} \left[\cos \varphi_{\text{н}} - \frac{v_{\text{м}}}{v_0} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_{\text{н}} \right) \right], \quad (10.53)$$

где k_p – удельное усилие резания на режущих лезвиях, Н;

ω – угловая скорость вращения режущего аппарата, с⁻¹;

$r_{\text{ц}}$ – расстояние от центра лобовой поверхности ножа до центра вращения, м;

$\chi_{\text{к}}$ – угол в плане между кромками спирального ножа и противорежущей пластины, $\chi_{\text{к}} = 19 \dots 22^\circ$;

$\varphi_{\text{н}}$ – угол поворота ножа, град;

$v_{\text{м}}$ – скорость передвижения машины, м/с;

v_0 – скорость отбрасывания стеблей, м/с.

Мощность на транспортирование зеленой массы, кВт,

$$N_{\text{тр}} = 10^{-3} m_{\text{уд}} g B_3 v_{\text{м}}, \quad (10.54)$$

где $m_{уд}$ – удельная масса срезаемой травы по ширине, кг/м;

B_3 – ширина захвата режущего аппарата, м.

При оценке производительности следует учитывать ширину захвата режущего аппарата и геометрические характеристики газона.

Эксплуатационная производительность, газонокосилки, m^2/c , в непрерывном режиме при прямолинейном движении вдоль дороги (без разворотов)

$$P_3 = k_v B_3 v_m, \quad (10.55)$$

где k_v – коэффициент использования машины по времени, $k_v = 0,85$.

10.4.3 Оборудование для посадки кустарников и деревьев

Для механизации работ по посадке зеленых насаждений используют бурильные установки с рабочими органами вращательного действия (бурами), рассчитанные на рытье неглубоких ям (глубиной до 1,5–2,0 м). Рабочий орган представляет собой одно- или двухзаходный бур с вертикальной осью вращения. Как правило, их также применяют для рытья ям под дорожные знаки, столбы и другие длинномерные элементы дорожной обстановки.

Бурильные установки классифицируют по следующим основным признакам:

- по виду рабочего оборудования – навесное и стационарное;
- по типу базового шасси – на колесных тракторах, погрузчиках, экскаваторах и кранах, на автомобильном или специальном шасси;
- по типу привода бура – с механическим, гидравлическим и электрическим приводом от силовой установки базовой машины или от автономного двигателя;
- по конструкции бура – лопастные и винтовые;
- по расположению рабочего органа – с передней, задней и боковой навеской.

В зависимости от объема работ используют ручные механизированные агрегаты (мотобуры, бензобуры), навесные сменные механизированные ямобуры, которые навешивают на строительные и другие машины, а также краново-бурильные машины со стационарным бурильным оборудованием. Навесные и стационарные бурильные механизмы состоят из крепежной конструкции, несущей стрелы с гидроприводом управления ее положением и закрепленным на ней буром. Привод вращения бура осуществляют от вала отбора мощности базового шасси. В ряде моделей вместо стрелы используют конструктивные элементы навески.

Для копания широких ям используют в основном лопастные буры (рисунок 10.31, а), для узких и глубоких – винтовые (шнековые) (рисунок 10.31, б).

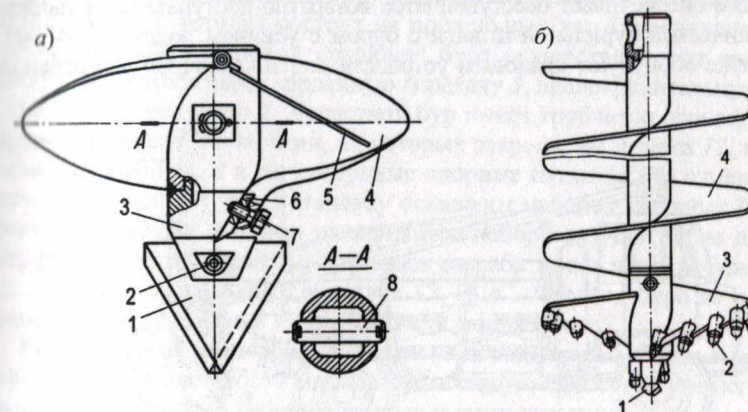


Рисунок 10.31 – Типы буров:

а – лопастной: 1 – забурник; 2, 7, 8 – элементы крепления; 3 – корпус; 4 – лопасть; 5 – заслонка; 6 – нож; б – винтовой: 1 – забурник; 2 – резец; 3 – буровая головка; 4 – шнек

У лопастных буров рабочая (транспортирующая грунт) поверхность имеет форму конуса, сужающегося к основанию бура. У винтовых на большей части длины она имеет форму цилиндра с витками одинакового диаметра и постоянного шага. Винтовые буры могут быть одно-, двух- и трехзаходными.

Лопастный бур (см. рисунок 10.31, а) состоит из трубчатого основания (корпуса) 3 с приваренными к нему лопастями 4, к которым крепят винтовыми соединениями ножи 6. В зависимости от категории грунта используют резцы и лемеха. В нижней части основания бура (с помощью пальца 2) крепят центрирующий наконечник – забурник 1 (или перку). Для предотвращения просыпания грунта при подъеме бура к его лопастям шарнирно крепят заслонки 5.

Винтовой бур (см. рисунок 10.31, б) также состоит из несущей трубы, в нижней части которой закрепляют центрирующий наконечник (забурник) 1 буровой головки 3. К трубе приваривают чаще всего два рабочих витка, заканчивающиеся сменными резцами или лемехами (в зависимости от категории грунта).

Для подготовки ям под посадки зеленых насаждений, для установки дорожных знаков и других подобных работ используют в основном легкие бурильные и бурильно-крановые машины, смонтированные на шасси грузовых автомобилей и колесных тракторов.

На рисунке 10.32 представлена схема бурильно-крановой машины на шасси автомобиля.

Ее рабочим органом является бур 5, имеющий механический привод 6 от силовой установки автомобиля через раздаточную коробку, предохранительную муфту, карданную передачу и конический редуктор 4. Перевод бура из рабочего в транспортное положение производят с помощью гидросистемы 1,

которая также обеспечивает бесступенчатое возвратно-поступательное движение гидравлической бурильной штанги с буром с усилием подачи 16–40 кН. Машину также оборудуют крановым устройством 2 и червячной реверсивной лебедкой.

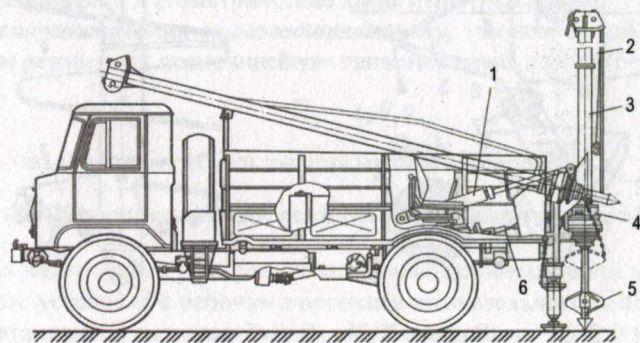


Рисунок 10.32 – Схема бурильно-крановой машины:

1 – гидроцилиндр перевода бура в рабочее положение; 2 – крановое устройство; 3 – бурильная штанга; 4 – конический редуктор; 5 – бур; 6 – механическая трансмиссия

Наибольшее распространение имеет легкое буровое оборудование, навешиваемое на пневмоколесные тракторы тягового класса 1,4 (МТЗ-80/82 и др.), которое позволяет готовить ямы в грунтах I–IV категорий, не содержащих крупных твердых включений. Как правило, для этих целей используют ямобуры (ямокопатели), конструктивная схема одного из которых представлена на рисунке 10.33.

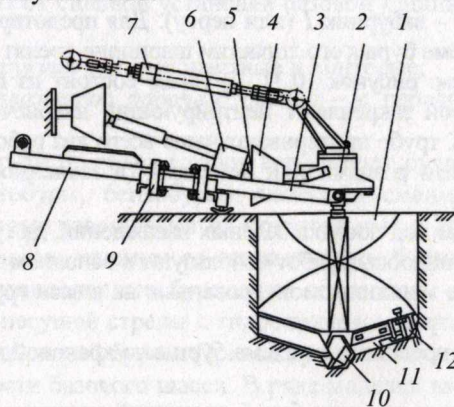


Рисунок 10.33 – Схема ямокопателя:

1 – бур; 2 – редуктор; 3 – рама; 4 – защитный кожух; 5 – карданная передача; 6 – предохранительная муфта; 7 – регулировочная тяга; 8 – продольная тяга навески; 9 – поперечная планка; 10 – центрирующий наконечник (перка); 11 – лемех; 12 – опорная пятка

Рабочий орган (лопастной бур) 1 навешивают на колесный трактор с помощью рамы 3, которая состоит из продольных тяг 8, соединенных поперечной планкой 9. Привод вращения бура осуществляют от вала отбора мощности трактора через карданную передачу 5, предохранительную муфту 6 и конический редуктор 2. Лопастной бур имеет трубчатое основание с приваренными к нему лопастями, на которых закреплены лемеха 11, центрирующий наконечник 10 и регулируемые опорные пятки 12 для изменения скорости заглубления бура. Установку оснащают набором сменных буров различного диаметра. В одном из вариантов набор включает буры диаметром 300, 600, 800 и 1000 мм, что позволяет разрабатывать ямы глубиной до 600 мм с угловой скоростью в пределах 12–18 с⁻¹. Перевод бура из рабочего в транспортное положение производят с помощью тяги 7.

Расчет бурильного оборудования включает оценку баланса мощности, определение устойчивости машины в рабочем и транспортном положениях, расчеты на прочность рабочих органов и основных узлов.

Баланс мощности оценивают с учетом основных сопротивлений, преодолеваемых при бурении грунта. По одной из методик мощность силовой установки, кВт, состоит из следующих компонентов:

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{р}} + N_{\text{под}} + N_{\text{п}}. \quad (10.56)$$

Мощность на разрушение грунта, кВт,

$$N_{\text{р}} = 10^{-3} \frac{k_{\text{с}} q_{\text{гр}}}{\eta_{\text{вр}}}, \quad (10.57)$$

где $k_{\text{с}}$ – удельная энергоемкость резания грунта, Н·м/м³,

$$k_{\text{с}} = \begin{cases} (1...2) \cdot 10^5 & \text{для грунта I категории,} \\ (2...3) \cdot 10^5 & \text{для грунта II категории,} \\ (3...4) \cdot 10^5 & \text{для грунта III категории;} \end{cases}$$

$\eta_{\text{вр}}$ – КПД привода вращения бура;

$q_{\text{гр}}$ – объем грунта, разрушенного за 1 с, м³/с,

$$q_{\text{гр}} = \frac{1}{4} \pi D_{\text{я}}^2 v_{\text{б}},$$

$D_{\text{я}}$ – диаметр ямы, м;

$v_{\text{б}}$ – скорость бурения, м/с.

Мощность на подъем бура, кВт,

$$N_{\text{под}} = 10^{-3} \frac{K_{\text{т}} \rho_{\text{гр}} g H_{\text{б}} q_{\text{гр}}}{\eta_{\text{вр}}}, \quad (10.58)$$

где κ_t – коэффициент, учитывающий потери мощности при трении грунта

по стенкам ямы, $\kappa_t = 1,2 \dots 1,3$;

$\rho_{гр}$ – плотность грунта, кг/м^3 ;

$H_б$ – глубина бурения, м.

Мощность на подачу бура, кВт,

$$N_{II} = \frac{P_{ос} v_б}{\eta_{II}}, \quad (10.59)$$

где $P_{ос}$ – осевая сила давления бура при подаче, кН, $P_{ос} = 3 \dots 7$ кН;

η_{II} – КПД привода подачи бура.

Если задана величина мощности силовой установки $N_{дв}$, скорость проходки ямы или скважины с учетом формул (10.55)–(10.58)

$$v_б = \frac{N_{дв}}{\frac{\pi D}{4 \eta_{впр}} (k_э + \kappa_t \rho_{гр} g H_б) - \frac{P_{ос}}{\eta_{II}}}, \quad (10.60)$$

По другому варианту при оценке потребляемой мощности учитывают сопротивление грунта резанию, силы трения боковых и торцевых поверхностей бура по грунту, а также грунта по грунту.

Эксплуатационная производительность бурильного оборудования, м/ч,

$$П_э = 3,6 \cdot 10^3 \frac{\kappa_v H_б}{T_{II}}, \quad (10.61)$$

где T_{II} – время цикла бурения, с,

$$T_{II} = t_{бур} + t_{сп} + t_{раз}, \quad (10.62)$$

$t_{бур}$ – время, затрачиваемое непосредственно на бурение, с;

$t_{сп}$ – время, затрачиваемое на спуск и подъем бура, с;

$t_{раз}$ – время, затрачиваемое на разгрузку бура от грунта, с.

10.4.4 Оборудование для пересадки деревьев

В число механизированных работ входит технологическая операция по пересадке деревьев. Для этих целей используют специализированное оборудование на базе колесных тракторов или фронтальных погрузчиков.

В качестве примера на рисунке 10.34 представлена конструктивная схема машины для пересадки деревьев на базе фронтального погрузчика (типа ПК-27-03-000). Основной рабочий орган – четыре штыковые лопаты 3, ко-

торые располагают кольцом вокруг пересаживаемого дерева. Их устанавливают с помощью гидроцилиндров 4 под углом $55-60^\circ$ к горизонту и заглубляют в грунт до глубины 1 м, на которой ножи лопат смыкаются и отделяют корневой ком. Затем саженец поднимают при помощи механизма 2 на высоту до 0,5–1,0 м и переносят на предварительно подготовленное новое место. Эффективность работы машины зависит от прочности грунта: с ее увеличением производительность машины снижается за счет увеличения времени на выкапывание.

Производительность оборудования, шт./с,

$$П_э = \frac{\kappa_v n}{T_{II}}, \quad (10.63)$$

где n – количество пересаженных деревьев;

T_{II} – время цикла, с,

$$T_{II} = t_{вык} + t_{под} + t_{тр} + t_{выг} + t_{хх}, \quad (10.64)$$

$t_{вык}$ – время на выкапывание дерева, с;

$t_{под}$ – время на подъем пересаживаемого дерева, с;

$t_{тр}$ – время на его транспортирование, с;

$t_{выг}$ – время на выгрузку и пересадку дерева, с;

$t_{хх}$ – время на холостой ход к исходному месту выкапывания, с.

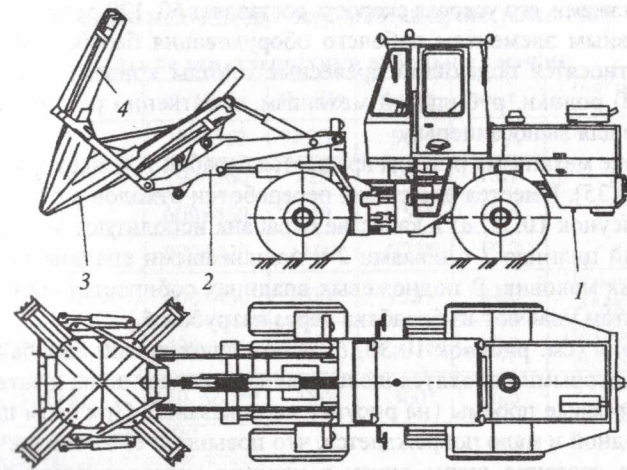


Рисунок 10.34 – Схема машины для пересадки деревьев:
1 – погрузчик; 2 – навесное оборудование; 3 – лопата; 4 – гидроцилиндр

10.4.5 Машины для переработки древесных отходов

Для механизации работ по переработке отходов санитарной очистки полосы зеленых насаждений по обочинам дорог (и производства из них топливной щепы) используют специализированные рубильные машины. Их классифицируют по следующим основным признакам:

- по виду рабочего органа – дисковые и барабанные;
- по типу базового шасси – на колесном и гусеничном тракторах, автомобильном или специальном шасси, на прицепе и полуприцепе;
- по типу привода рубильного агрегата – от силовой установки базового шасси и от автономного двигателя;
- по способу загрузки сырья – вручную и гидроманипулятором.

Дисковые рабочие органы применяют в основном на машинах малой и средней производительности с приводом от вала отбора мощности базового шасси. Часто в качестве базового шасси используют колесные тракторы с навесным рабочим оборудованием.

Автономные рубильные машины представляют собой рубильные агрегаты барабанного типа, сблокированные с силовой установкой, которые устанавливают на самоходные шасси или прицепы.

Главный рабочий орган рубильной машины чаще всего приводят от двигателя базовой машины через редуктор. В установках прицепного типа рубильный агрегат приводят как от двигателя базовой машины (через карданный вал), так и от автономного двигателя, установленного на прицепе в блоке с рубильной машиной. В большинстве моделей барабан диаметром 600–1000 мм оснащают 2–8 ножами, его угловая скорость составляет 60–120 рад/с.

К основным элементам рабочего оборудования барабанной рубильной машины относятся подающий древесные отходы конвейер, затягивающие (подающие) ролики, рубильный механизм, собственно режущий барабан и устройство для выноса щепы.

В корпусе механизма резания вращается барабан 1, оснащенный ножами 2 (рисунок 10.35). Имеется две схемы переработки отходов в барабане. В первой (см. рисунок 10.35, а) в качестве барабана используют монолитный металлический цилиндр 1 с ножами 2 и подножевыми впадинами 5, который работает как маховик. В подножевых впадинах собирается срезанная щепа, которую затем удаляют из барабана через патрубок 6.

Во второй (см. рисунок 10.35, б) используют полый барабан 1 с ножами 2, под которыми находятся щели 7, куда попадает щепа и затем удаляется через торцевые проемы (на рисунке не показаны). При этом щепа выходит однородной и мало повреждается, что повышает ее качество.

В месте срезания щепы снизу в корпусе устанавливают контрнож 4 с прижимной пластиной, который стабилизирует процесс резания и предохраняет элементы машины от преждевременного износа.

Производители рубильной техники для переработки древесных отходов (например, компании «Junkkari» из Финляндии, «Doppstadt» из Германии и др.) выпускают модельные ряды, отличающиеся габаритами, типом и приводом рабочего оборудования, мощностью и производительностью. В частности, фирма «Junkkari» производит в основном рубильные машины с дисковыми рабочими органами с приводом от трактора или собственного дизельного двигателя на специальном шасси, прицепе и полуприцепе. Компания «Doppstadt» специализируется в основном на машинах с барабанными рабочими органами, которые различаются ходовыми системами, приводом рабочего оборудования и мощностью силовой установки.

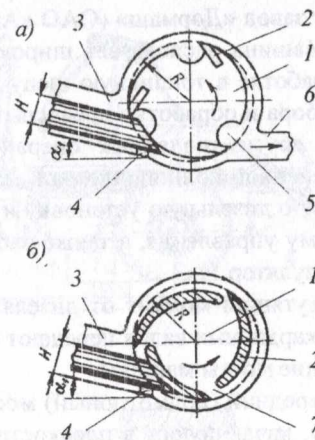


Рисунок 10.35 – Схемы переработки древесных отходов в рубильном механизме с цельнометаллическим (а) и полым (б) барабаном:
1 – барабан; 2 – нож; 3 – загрузочный патрон; 4 – контрнож; 5 – подножевая впадина; 6 – щеповодящий патрубок; 7 – подножевая щель

В Беларуси также производят рубильную технику. В таблице 10.7 приведены технические характеристики рубильных модулей, изготовленных на базе отечественных тяговых машин совместно с финскими и немецкими производителями. Помимо приведенных в таблице 10.7 передвижных машин, отечественные предприятия выпускают также стационарные машины для переработки древесных отходов.

Таблица 10.7 – Технические характеристики рубильных машин

Модель	$B \times H$, мм	Π , м ³ /ч	N , кВт	m , т	Привод
БЕЛАРУС МР-25	790×360	>25	96	11,2	Прицеп + трактор
БЕЛАРУС МР-25-03	790×360	>25	96	15,1	
БЕЛАРУС МР-40	600×450	>40	–/156*	19,6	
БЕЛАРУС МР-100	990×420	>100	–/223*	19,7	
АМКОДОР 2902 (6×6)	600×450	100	132	24,0	На базе форвардера АМКОДОР 2661
АМКОДОР 2904 (4×4)	600×450	130	116/238*	20,2	На базе форвардера АМКОДОР 2641
МАЗ-6944С9 (8×4)	420, 560**	150	–/360*	26,5	На базе МАЗ-6515С9

* Наличие автономного ДВС.

** Диаметр твердых и мягких пород отходов.

Примечание – B , H – ширина и высота приемного окна; Π – производительность; m – масса комплекта.

Самоходные машины целесообразно рассмотреть на примере машины модели «АМКОДОР 2904» с барабанным рабочим органом, которую производит завод «Дормаш» (ОАО «Амкодор» – управляющей компании холдинга). Машина располагает широкими технологическими возможностями по переработке в топливную щепу различных видов отходов и предназначена для сбора и обработки древесных отходов от лесозаготовок, деревообработки и других подобных операций. Она является самоходной шарнирно-сочлененной полноприводной машиной (рисунок 10.36), содержащей раму, силовую дизельную установку и трансмиссию, тормозную систему и гидросистему управления, а также рабочее оборудование (рубильный модуль 2 и манипулятор 1).

Крутящий момент от дизеля через редуктор отбора мощности с помощью карданных валов передают на гидромеханическую передачу и далее на ведущие мосты машины.

Передний (подмоторный) мост устанавливают на жесткую балансирующую рамку, качающуюся в плоскости, перпендикулярной к продольной оси машины, что способствует снижению напряжений кручения.

Рама состоит из двух полурам 4 и 5, соединенных шарнирами с общей вертикальной осью. На передней полураме размещают силовую установку, трансмиссию и кабину с органами управления. Для обеспечения удобного доступа к основным агрегатам машины кабина откидывается. Она имеет защиту, обеспечивающую безопасность оператора в случае опрокидывания машины, а также звуковую сигнализацию и электроосветительные приборы для безопасной работы на рабочих площадках.

На задней полураме 5 устанавливают рабочее оборудование, которое состоит из гидроманипулятора 1 для подачи древесного сырья, а также рубильного модуля 2 с барабанной дробилкой.

Гидроманипулятор 1 имеет телескопическую стрелу, рукоять, ротатор и захват. Ротатор представляет собой гидравлическое поворотное устройство в виде высокомоментного пластинчатого гидромотора, совмещенного с шарнирным соединением, управление которым осуществляют из кабины машиниста с помощью встроенного распределительного блока. Вращение ротатора и управление гидроцилиндром захвата производят за счет подачи рабочей жидкости (под давлением 20 МПа) через гидрораспределитель. Наличие ротатора обеспечивает вращение захвата на 360°. Манипулятором управляют при помощи гидроцилиндров, изменяющих его положение вокруг вертикальной оси, а также в горизонтальной плоскости за счет изменения положения стрелы (в том числе за счет телескопического выдвижения) и рукояти. Гидромотор и гидроцилиндры приводят от гидросистемы базового трактора.

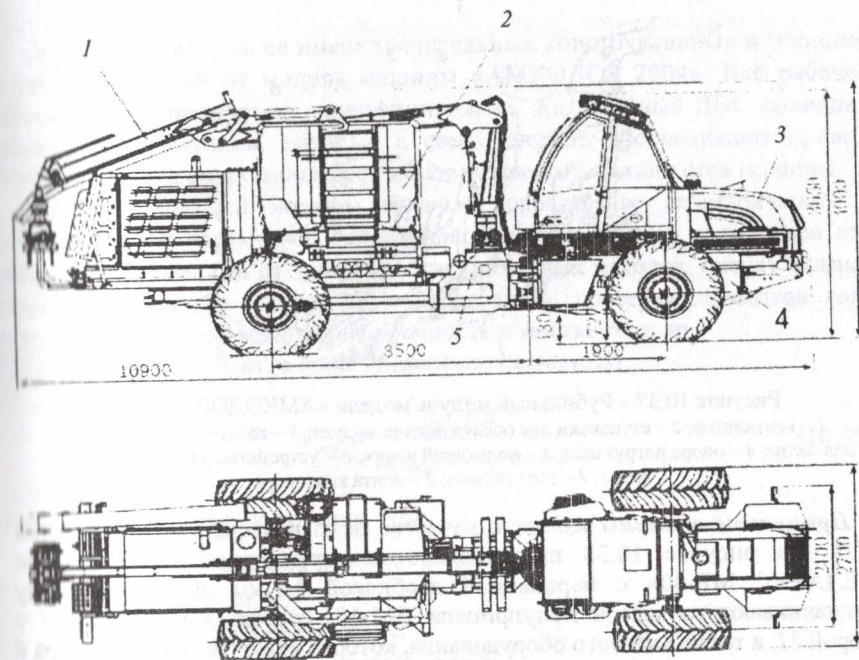


Рисунок 10.36 – Рубильная самоходная машина модели «АМКОДОР 2904»:
1 – манипулятор; 2 – рубильный модуль; 3 – базовое шасси; 4 – передняя полурама;
5 – задняя полурама

Рубильный модуль (рисунок 10.37) содержит следующие узлы:

- автономный дизельный двигатель (мощностью 238 кВт), сблокированный с барабанной дробилкой фирмы «Kesla», имеющей шесть ножей;
- конвейер 8 с прижимным роликом 5 для подачи отходов древесины в зону обработки;
- стол подачи отходов 7;
- сборник щепы;
- воздуховодную трубу 3 для выноса щепы (щепопровод);
- систему управления.

Модуль полностью гидрофицирован: от насоса гидросистемы модуля получают вращение гидромоторы конвейера, подающего ролика и рубильного барабана. Позиционирование стола подачи, ролика и трубы осуществляют с помощью гидроцилиндров.

Машины модели «АМКОДОР 2904», которые производят несколько компаний, входящих в состав холдинга «Амкодор», отличаются набором ряда комплектующих различных производителей.

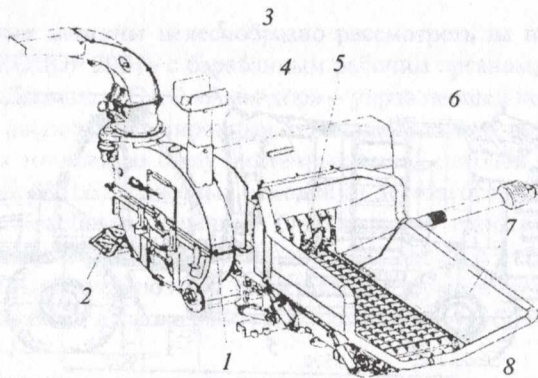


Рисунок 10.37 – Рубильный модуль модели «АМКОДОР 2904»:
1 – вентилятор; 2 – ступеньки для обслуживания модуля; 3 – воздухопроводная труба для щепы; 4 – опора погрузчика; 5 – подающий ролик; 6 – устройство для размельчения щепы; 7 – стол подачи; 8 – лента конвейера

Прицепные машины имеют в качестве базы колесные тракторы типа МТЗ. На рисунке 10.38 представлена конструктивная схема модели «БЕЛАРУС МР-40» с барабанной дробилкой фирмы «Kesla». Машину устанавливают на шасси полуприцепа ПМ-10, состоящего из рамы 7 с опорой 11, а также ходового оборудования, которое включает два балансира 6 и четыре колеса. На полуприцепе, оснащенном аутригерами 8, устанавливают моторный модуль 4, рубильный агрегат 3, гидроманипулятор 2, кабину 1, гидросистему управления 9 и др. Моторный модуль включает дизельный двигатель мощностью 156 кВт для привода рубильного агрегата.

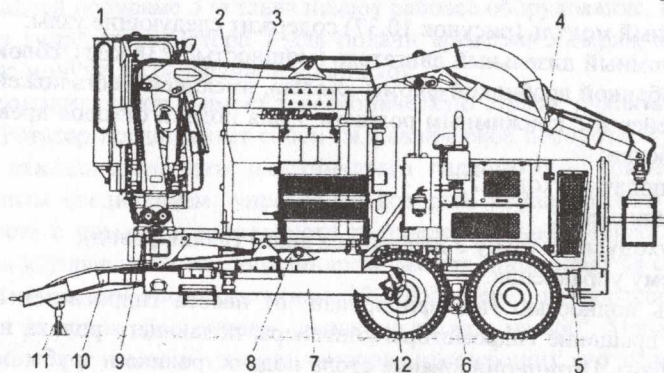


Рисунок 10.38 – Рубильная прицепная машина модели «БЕЛАРУС МР-40»:
1 – кабина оператора; 2 – гидроманипулятор; 3 – рубильный агрегат; 4 – моторный модуль;
5 – электрооборудование; 6 – балансир с колесами; 7 – рама; 8 – выносная опора;
9 – гидросистема; 10 – дышло; 11 – опора; 12 – пневмосистема

Рубильный модуль не имеет значительных конструктивных и технологических отличий от модуля машины «АМКОДОР 2904». Всё рабочее оборудование полностью гидрофицировано. Автономный ДВС приводит насосы гидросистемы, которые в свою очередь обеспечивают привод гидромоторов и гидроцилиндров исполнительных механизмов машины.

Расчет рубильной машины включает определение геометрических и кинематических параметров барабанного режущего блока и режимов его работы в зависимости от характеристик древесных отходов, оценку баланса мощности, расчет и подбор гидрооборудования, проверку элементов конструкции рубильной машины на прочность и жесткость и др.

Мощность для измельчения древесных отходов, Вт,

$$N_{\text{рез}} = \frac{k_{\text{рез}} H B l z}{2\pi \eta_{\text{пр}} \cos \alpha_1 \cos \alpha_2}, \quad (10.65)$$

где $k_{\text{рез}}$ – удельная сила резания, Н/м;

H, B – высота и ширина приемного окна, м;

l – длина щепы, м;

z – число ножей на барабане;

$\omega_{\text{бар}}$ – угловая скорость барабана, рад/с;

$\eta_{\text{пр}}$ – КПД привода барабана;

α_1, α_2 – углы примыкания загрузочного патрона в вертикальной (α_1) и горизонтальной (α_2) плоскостях, град.

Производительность барабанной рубильной машины, кг/ч,

$$P_3 = 60 K_{\text{вр}} K_{\text{заг}} \rho_{\text{до}} H B l n_{\text{бар}}, \quad (10.66)$$

где $K_{\text{вр}}$ – коэффициент использования машины по времени,

$K_{\text{вр}} = 0,85$;

$K_{\text{заг}}$ – коэффициент загрузки машины, $K_{\text{заг}} = 0,3 \dots 0,6$;

$\rho_{\text{до}}$ – плотность древесных отходов, кг/м³;

$n_{\text{бар}}$ – число оборотов барабана, мин⁻¹.

10.5 Оборудование для устройства и укрепления обочин

Обочины являются элементами дороги, непосредственно примыкающими (на одном уровне) к ее проезжей части. Они препятствуют проникновению поверхностных вод и разрушению кромки проезжей части, а также служат дополнительными полосами безопасности. Устройство обочин производят вслед за

устройством дорожной одежды. Процесс их формирования включает устранение деформации земляного полотна по всей площади обочин, досыпку дорожно-строительного материала до установленного проектом уровня, его планировку и уплотнение. Для реализации этих операций применяют специализированные машины или навесные агрегаты на тяговые машины, которые за один проход формируют обочину без необходимости дополнительного контроля за процессом ее укладки.

Оборудование классифицируют по следующим признакам:

- 1) по назначению – для устройства обочин, их укрепления и расширения;
- 2) по типу шасси – навесные, прицепные и самоходные;
- 3) по виду материала – песком, гравием, щебнем, щебеночно-песчаной смесью и асфальтобетонной смесью;
- 4) по типу тяговой машины – колесным трактором, автогрейдером, фронтальным погрузчиком и колесным асфальтоукладчиком;
- 5) по типу привода рабочего оборудования – от силовой установки базовой машины и от автономного двигателя.

Укрепление обочин способствует увеличению долговечности дорог. Для этих целей используют различные методы и технические средства (таблица 10.8), включая рассмотренные ранее методы формирования газона. В большинстве случаев используют прицепной или навесной варианты оборудования для формирования и укрепления обочин. Силовую установку базового тягача используют для привода хода и других агрегатов, а автономный двигатель (мощностью 15–25 кВт) – для привода рабочих органов.

В составе рабочего оборудования могут быть следующие узлы и системы:

- многоступенчатый отвал ломаной формы, на конце которого монтируют профилирующий нож, отвал имеет возможность изменения положения выше или ниже уровня дорожного полотна с помощью штанги, обеспечивающей вертикальное перемещение отвала в направляющих;
- приемный бункер вместимостью 1,5–3,0 м³, ширина которого соответствует ширине кузова стандартного крупнотоннажного самосвала. В нижней части бункера устанавливают ленточный конвейер для выгрузки материала, который дозируют за счет изменения площади сечения выгрузного окна или за счет изменения скорости перемещения ленты конвейера;
- гидравлический роликовый буфер с возможностью регулировки его положения для работы с различными моделями самосвалов;
- подметальная щетка;
- вибратор на формирующей обочину отвале или дополнительная выравнивающая виброплита;
- автоматизированная система нивелирования, которая обеспечивает точное выполнение проектных значений поперечного уклона обочины;

– передвижная панель управления с креслом оператора на консоли за бункером (для контроля за разгрузкой самосвала, за подачей материала и формированием обочины);

– выносной пульт оператора.

Всё рабочее оборудование гидрофицировано и приводится в действие автономным двигателем внутреннего сгорания через насос и гидродвигатели (гидромоторы – для привода конвейера и щетки, гидроцилиндры – для позиционирования рабочих элементов).

Примером отечественного устройства для создания и укрепления обочины является оборудование ОНУ-2300, разработанное на Фанипольском опытно-механическом заводе (филиале РУП «Дорстройиндустрия»). На рисунке 10.39 приведена схема установки, которая представляет собой передненавесное оборудование, монтируемое на лонжеронах пневмоколесного трактора «БЕЛАРУС 92П». Оно содержит отвал, бункер, конвейер подачи дорожно-строительного материала и систему управления рабочим оборудованием.

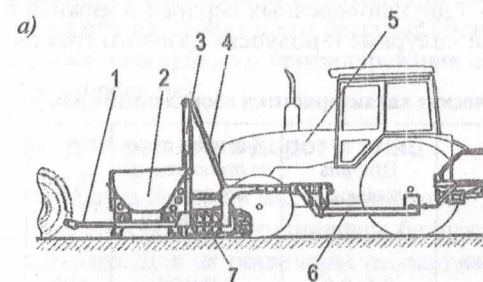
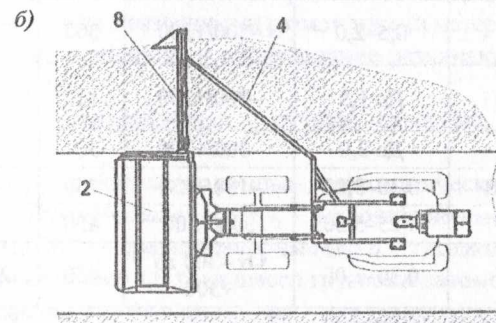


Рисунок 10.39 – Оборудование для укрепления откосов:

а – конструктивная схема; б – планировка откоса;
1 – штанга; 2 – бункер; 3 – упорная балка; 4 – упорная штанга; 5 – базовый трактор;
6 – лонжерон рамы; 7 – конвейер; 8 – секции отвала

Основным агрегатом оборудования является планировочный отвал 8, состоящий из четырех независимых секций, обеспечивающих изменение рабочей ширины зоны обработки в диапазоне от 0,6 до 2,3 м, а также возможность планировки откосов за счет перекоса отдельных секций отвала на величину $\pm 0,3$ м. Отвал-планировщик оснащают профилирующим ножом с регулируемой шириной.

При необходимости планировки с отсыпкой дорожно-строительного материала (щебня, песка, асфальтобетонной смеси и др.) используют бункер 2, который загружается из самосвала и в рабочем положении опирается на четыре опорных ролика. Под каркасом бункера устанавливают регулируемую по вылету гидравлическую штангу 1 с двумя буферными роликами, с помощью которых оборудование упирается в колеса заднего моста автосамосвала с дорожно-строительным материалом. В его правом (по ходу движения) торце устанавливают дозирочное выгрузное окно, через которое материал поступает к отвалу. Для этого бункер, который загружают из самосвала, оснащают ленточным конвейером 7 и дозирочной заслонкой.

Рабочие органы устанавливают на раме, состоящей из двух продольных лонжеронов 6 и двух поперечных верхней и нижней балок. Лонжероны 6 закрепляют на полураме и полуосях базового трактора 5.

Таблица 10.8 – Технические характеристики оборудования для укрепления обочин

Модель	Ширина укладки, м	Ход ножа отвала относительно дорожного полотна, мм	П, т/ч	v, км/ч	Базовое шасси
«Дорстройиндустрия» ОНУ-2300	0,5–2,3	–300/+300	600	3,0	МТЗ-92П
ДТ-2000	0,5–2,0	–250/+250	420	3,0	ФП
«СТиМ» СТиМ-2000	0,5–2,0	–300/+300	300	3,0	ФП* 20 кВт
«Бецема» БЦМ-73	До 1,5	–300/+300	180	3,0	ФП* 15 кВт
Hydrog DG-1500	До 3,0	–300/+300	300	–	ФП
Blaw-Knox RW-100B	0,30–3,05	–180/+230	750	–	ФП
Madrog UP 300	0,25–5,50	300/+300	450	–	ФП
Midland SPD-10	0,30–3,05	От –300 до +300	450	2,7	ФП* 100 л. с.

* Мощность автономного двигателя.

Примечание – П – эксплуатационная производительность; v – максимальная рабочая скорость; ФП.

Гидросистема привода рабочих органов является двухконтурной. Первый контур обеспечивает регулирование скорости вращения гидромотора конвейера от насоса, смонтированного на ВОМ базового трактора. Второй контур (от гидромфут базового трактора) при помощи силовых гидроцилиндров обеспечивает управление положением рабочих органов: подъемом-опусканием стойки отвала, перекосом отвала, подъемом-опусканием приемного бункера, выдвижением гидросекции отвала, а также вылетом передней упорной штанги.

Оборудование позволяет расширять дорожное полотно и укреплять обочины за счет одновременной отсыпки и планировки дорожно-строительного материала (щебня, гравия, песка, асфальтобетонной смеси и др.). Оно обеспечивает два технологических процесса. Во-первых, процесс планировки обочин с использованием отвала-планировщика, обладающего набором независимых секций, которые обеспечивают рабочую ширину до 2,3 м с возможностью установки заданного угла откоса. Во-вторых, процесс укрепления обочин и откосов за счет подачи из бункера необходимого количества дорожно-строительного материала и его распределения на обрабатываемой поверхности, а также планировки и профилирования обочин и откосов при помощи отвала-планировщика.

10.6 Машины для разметки дорог и улиц

Разметка и маркировка проезжей части и обстановки дорог и улиц является одним из основных мероприятий организации безопасного движения автотранспорта и пешеходов. Для их реализации используют маркировочные машины, которые должны обеспечить высокое качество и дизайн разметки, технологию нанесения разметочных материалов и по возможности быть универсальными (для работы с различными разметочными материалами).

Маркировочные машины и оборудование различают по следующим основным признакам:

- по способу передвижения – ручные, навесные, прицепные и самоходные;
- по способу управления – с ручным и автоматическим управлением;
- по массе (производительности) – малогабаритные ручные (до 0,2 т) и самоходные (до 3,0 т), среднеразмерные (до 8,0 т) самоходные и прицепные, полноразмерные (более 8,0 т) на шасси грузовых автомобилей;
- по функциональному назначению – для нанесения лакокрасочных материалов (эмалей и водно-дисперсионных красок), пластиков («холодных» и «горячих», в том числе «холодных» и «горячих» спрей-пластиков), полимерных лент и комбинаций маркировочных материалов;

– по температурному режиму маркировки – при температуре окружающей среды (эмали, водно-дисперсионные краски, «холодные» пластики и «холодные» спрей-пластики) и при температуре 150–220 °С («горячие» пластики, «горячие» спрей-пластики и полимерные термопластичные ленты);

– по методу нанесения маркировочных материалов – бескомпрессорный (безвоздушный), пневматический (воздушный), кинетический, экструзионный и гравитационный.

На рисунке 10.40 представлены типичные конструкции наиболее распространенных разметочных машин. Большую часть машин для нанесения разметки составляют малогабаритные, в том числе *ручные маркировщики*. Самоходные маркировщики размещают на специальных или автомобильных шасси в зависимости от производительности и метода нанесения маркировочных материалов.

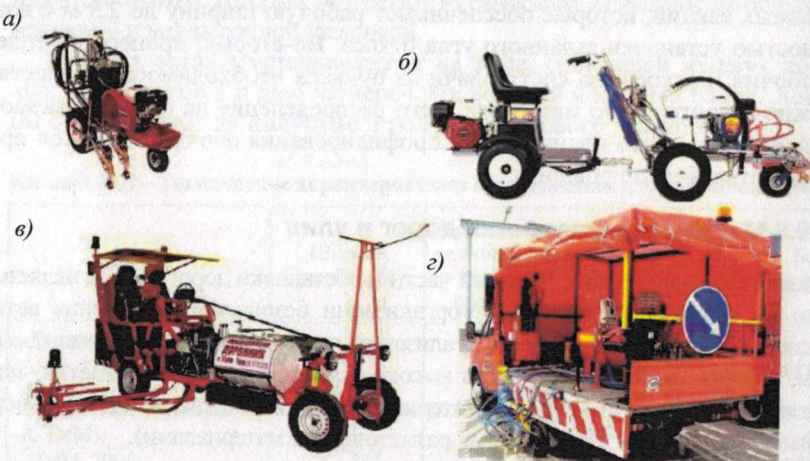


Рисунок 10.40 – Маркировочные машины:

а – ручная; б – прицепная; в – самоходная; г – самоходная на базе автомобиля

Ручная машин (см. рисунок 10.40, а) представляет собой трехосную толкаемую тележку с ручками управления. С ее помощью реализуют безвоздушный метод маркировки, для чего ДВС небольшой мощности приводит поршневой насос высокого давления, который подает из резервуара краску на краскопульт (один или два) и через распылитель на дорожное полотно. Небольшая масса и компактные габариты дают возможность применять агрегат в стесненных городских условиях.

В прицепных машинах (см. рисунок 10.40, б) также культивируют в основном безвоздушный метод маркировки, который позволяет использовать любые краски, в том числе и высоковязкие.

Самоходная машина (см. рисунок 10.40, в и г) имеет базовое самоходное шасси с установленным на нем технологическим модулем, состав которого определяет метод нанесения разметки и тип используемых разметочных материалов. Он (модуль), как правило, включает ДВС для привода гидронасоса высокого давления или компрессора, емкостей (при необходимости обогреваемые) для маркировочных материалов (краски или пластиков), распылители с набором распыляющих устройств и др. Машины оснащают автоматическими и ручными устройствами для нанесения краски и светоотражающих элементов.

Для разметки используют маркировочные материалы, которые должны отвечать комплексу различных требований. В их числе эффективность распознавания знака, стойкость к истиранию, атмосферным воздействиям и воздействию топливно-смазочных материалов, высокая адгезионная способность и др. Выбор разметочного материала и технологии нанесения (или восстановления) разметки зависит от типа и шероховатости дорожного покрытия, прогнозируемого остаточного срока эксплуатации его слоя износа, а также интенсивности движения автотранспорта на участке производства разметочных работ.

Реализацию упомянутых требований обеспечивает сложный состав маркировочного материала, главным компонентом которого является связующее (вяжущее). Оно придает материалу монолитность и прочность, а также другие технологические и эксплуатационные свойства.

Краски имеют наибольшее распространение на постсоветском пространстве, а также в отечественной дорожной технике. Краска представляет собой многокомпонентный материал, который включает связующее, отвердитель, наполнитель, пигмент (краситель), световозвращающие добавки и растворитель. В основном в качестве связующих используют растворы смол (олигомеров), которые при введении отвердителя и испарении растворителя отвердевают (т. е. переходят в твердое состояние). Наполнители способствуют увеличению износостойкости наносимого слоя при его контакте с шинами автотранспортных средств. Пигменты (красящие вещества минерального происхождения) обеспечивают нужный цвет, а также снижают пористость маркировочного слоя. Световозвращающие добавки (стеклошарики диаметром от 0,05 до 1,50 мм) должны обеспечивать хорошую видимость в любое время суток при любой погоде. Органический растворитель снижает вязкость связующего на стадии нанесения краски на дорожное полотно.

Всё шире используют так называемые двухкомпонентные эмали, которые не содержат растворителей и обладают повышенной износостойкостью и адгезионной способностью по отношению к традиционным краскам, содержащим растворитель.

Водно-дисперсионные краски, которые следует причислить к эмульсиям, не содержат органических растворителей, что делает их экологически более безопасными, но и менее долговечными из-за относительно низкой адгезионной способности по отношению к материалу дорожного покрытия. Производители выпускают в основном акриловые составы в виде концентрата, который перед употреблением разводят водой для достижения необходимой вязкости краски.

Пластики для дорожной разметки подразделяются на три группы: «холодные» или пластики холодного нанесения; «горячие», или термопластики; спрей-пластики («горячие» и «холодные» пластики в виде спрея).

Они имеют значительные преимущества по сравнению с традиционной разметкой красками или эмульсиями. Если разметка краской в наших климатических условиях служит не более года, то срок службы полимерной разметки нередко составляет три-четыре года при условии соблюдения технологического регламента подготовительных и разметочных работ.

Холодные пластики не требуют разогрева при применении. Их наносят на поверхность дорожного покрытия при температуре окружающей среды без дополнительной термообработки. Холодные пластики поставляют в виде двух компонентов: А и Б. В состав компонента А, который представляет собой текучую смесь, входят раствор связующего (термореактивного полимера), а также технологические и функциональные добавки (пигмент, пластификатор, износостойкий наполнитель, световозвращающие добавки и др.). Компонент Б является отвердителем. После смешивания смеси и отвердителя в бункере машины и укладки на дорожное полотно термореактивное связующее химически взаимодействует с отвердителем с образованием пространственной сшитой структуры. В результате полимеризации материал разметки приобретает прочность, жесткость, водонепроницаемость и другие необходимые эксплуатационные свойства. Пластификатор снижает его хрупкость, а наполнители обеспечивают его прочность и износостойкость. Диапазон нанесения холодных пластиков ограничен температурами от +10 до +35 °С.

Горячие пластики представляют собой материалы, которые наносят на дорожное покрытие в расплавленном виде (при температуре 180–220 °С). В исходном состоянии горячий пластик – это порошкообразный или гранулированный материал, состоящий из смеси полимерного (термопластичного) связующего и добавок (пигмента, наполнителей и др.) и не содержащий растворителей. Такой материал наносят на поверхность экструзией, выдавливанием, накаткой и распылением, толщина слоя которого в зависимости от метода нанесения составляет от 1,5 до 5,0 мм. Горизонтальная разметка из горячих термопластиков имеет значительно большую долговечность, чем красочная разметка.

Следует обратить внимание на принципиальное отличие составов горячих и холодных пластиков, которое отражается на технологии маркировки:

– **холодный пластик** имеет в своем составе раствор связующего на основе **термореактивного полимера (реактопласта)**, которое приобретает прочность и жесткость после взаимодействия с отвердителем и испарения растворителя при температуре окружающей среды. Для его нанесения нередко используют то же оборудование, что и для красок;

– **горячий пластик** имеет в качестве связующего **термопластичный полимер (термопласт)**, который необходимо расплавить (т. е. перевести из твердого в жидкое состояние) и в виде расплава нанести на обрабатываемую поверхность. Поэтому для нанесения разметки горячим пластиком необходимо специализированное оборудование, которое оснащают экструзионным шнековым узлом для выдавливания расплавленного материала на обрабатываемую поверхность. При последующем охлаждении он приобретает прочность и жесткость. Его нанесение на покрытие примерно на порядок дороже нанесения разметочной краски.

В практике дорожного строительства горячий пластик называют термопластиком, и хотя это не совсем корректно, будем стараться придерживаться этого термина.

Спрей-пластики представляют собой холодные и горячие пластики для нанесения разметки методом распыления маркировочного материала.

Полимерные световозвращающие ленты находят всё большее применение. Они представляют собой готовые изделия, которые используют для горизонтальной дорожной разметки, а их долговечность составляет два-четыре года. Как правило, лента состоит из нескольких слоев. Нижний клеевой слой (например, резиново-битумный) упрощает нанесение ленты на полотно. Верхний полиуретановый слой содержит квадратные фрагменты, сформированные из стеклошариков и керамических частиц. Керамика обеспечивает ленте повышенную износостойкость. Ленты утапливают в свежеложенный асфальтобетон асфальтовым катком или приклеивают к дорожному полотну с помощью специальных клеев. Маркировка лентами рассчитана на их долговечность в течение 4–5 лет при условии точного соблюдения технологического регламента их нанесения.

К световозвращающим лентам относятся и **катафоры** – **дорожные световозвращатели**, которые используют для повышения видимости полос движения в темное время суток. Они представляют собой корпусные детали разметки, изготовленные из ударопрочного пластика, внутри которых располагают оптические элементы.

Для маркировки дорожных покрытий красками используют в основном бескомпрессорный (безвоздушный) и пневматический (воздушный) методы, принципиальные схемы которых представлены на рисунке 10.41.

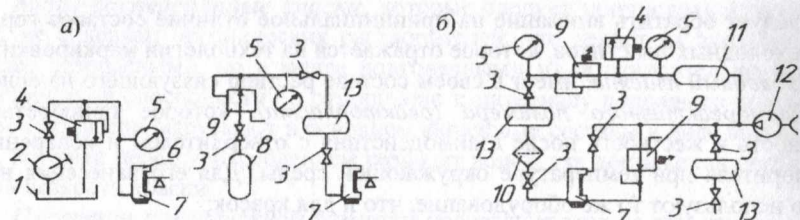


Рисунок 10.41 – Схемы бескомпрессорного (а) и пневматического (б) методов маркировки:

1 – резервуар с краской; 2 – ручной насос; 3 – проходной кран; 4 – предохранительный клапан; 5 – манометр; 6 – краскораспылитель; 7 – рычаг управления; 8 – баллон со сжатым воздухом; 9 – редуктор; 10 – фильтр; 11 – ресивер; 12 – компрессор; 13 – бак с растворителем

Бескомпрессорный (или безвоздушный) **метод** считают самым экономичным по расходу краски. Он заключается в прохождении потока краски в краскопульт из специального резервуара под давлением. Краску закачивают мембранным или поршневым насосом, реже – ручным насосом, и распыляют на обрабатываемую поверхность. Качество распыляемого факела капель краски зависит от чистоты исходных компонентов, точного выбора геометрических характеристик и конфигурации сопла, а также от стабильности давления в системе. Поэтому для получения необходимого угла факела распыления и расхода материала подбирают сопло соответствующего размера с учетом вязкости краски и наличия наполнителей. На рисунке 10.41, а показаны два варианта бескомпрессорного способа, когда давление краски создают при помощи ручного насоса 2 или баллона со сжатым воздухом 8.

Пневматический (воздушный) метод распыления (см. рисунок 10.41, б) является более простым (по сравнению с бескомпрессорным методом) и универсальным. В составе установки для его осуществления имеется компрессор 12, который подает в краскопульт сжатый воздух, разделяющийся на три потока. Один поток сжатого воздуха подают в резервуар с краской, второй – в бак с растворителем, а третий – непосредственно в краскораспылитель. Регулируя поток воздуха, поступающего в краскопульт или распылитель, можно эффективно управлять параметрами факела краски. Метод не требует предварительной фильтрации разметочного материала, но характеризуется большим расходом краски и сжатого воздуха.

Кинетический метод нанесения лакокрасочных и термопластичных материалов состоит в том, что распыляемый состав направляют в краскораспылитель под давлением 3–12 МПа, которое создает насосная установка, и распыляют на обрабатываемое покрытие в виде мелких частиц или капель. Форма факела напыляемых частиц зависит от вязкости раствора, наличия твердых наполнителей и давления в системе. Этот метод имеет уменьшенный на 10–15 % расход красок по сравнению с пневматическим.

Маркировочные машины для реализации кинетического метода нанесения красок размещают на специальном или автомобильном шасси (рисунок 10.42). Рабочее оборудование машины устанавливают на платформе, расположенной на раме шасси. Оно включает следующие основные агрегаты: компрессор и ресивер, баки с краской и растворителем, стационарное краскораспылительное оборудование и выносной пистолет-распылитель, а также контрольно-измерительную аппаратуру и систему управления. Позади машины оборудуют место для размещения обслуживающего персонала и хранения стоек ограждения. Для обеспечения заданного направления движения машину снабжают визирным устройством штангового типа, установленным спереди машины на одной оси с краскораспылителем. Машину оборудуют дополнительно струйным насосом для механизированной заправки баков краской и растворителем.

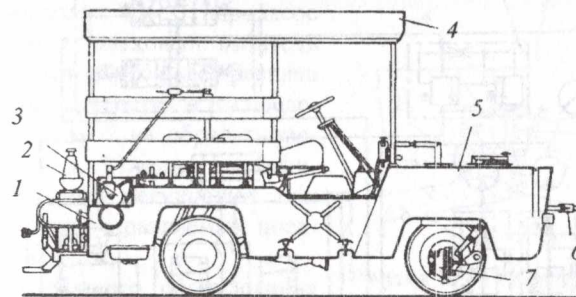


Рисунок 10.42 – Конструктивная схема машины для маркировки красками: 1 – базовое шасси; 2 – ограждение; 3 – выносной краскораспылитель; 4 – тент; 5 – бак с краской; 6 – визирное устройство; 7 – краскораспылитель

Двигатель шасси приводит через карданную и ременную передачи компрессор, от которого сжатый воздух поступает в ресивер и затем в бак с краской и в краскораспылитель. Краска под давлением поступает в краскораспылитель и смешивается со сжатым воздухом из ресивера, образуя двухфазную смесь. Эту смесь через форсунку краскораспылителя разбрызгивают на обрабатываемую поверхность дорожного полотна. После работы для промывки системы используют растворитель, который подают под давлением в подводящие коммуникации, форсунку и бак для краски.

Для реализации кинетического метода нанесения термопластичных материалов машину оснащают системой его подогрева до рабочей температуры, превышающей температуру плавления полимера. Оборудование, смонтированное на шасси грузового автомобиля, включает блок из двух обогреваемых баков с расплавом термопластика, оснащенных мешалками, рабочий орган (маркер) с механизмом выдвижения, систему циркуляции жидкого теплоносителя с насосной установкой, гидросистему, пульт управления, подсистему контроля параметров (температуры и др.). Рабочим органом

является маркер, т. е. емкость (или две емкости), связанная с баками и оснащенная щелевым устройством для регулируемой подачи материала на покрытие. Маркер располагают под платформой машины.

На рисунке 10.43 представлена гидросхема разметочной машины, которая обеспечивает управление подачей материала. Рабочую жидкость от насоса 2 распределяют по трем направлениям: к гидромотору 7, который приводит во вращение насос теплоносителя, и к гидромоторам 8 и 9, вращающим мешалки в баках для разогрева термопластика. Управление состоянием маркера (изменение положения заслонок, подъем-опускание самого маркера) осуществляют гидроцилиндрами 13 и 14.

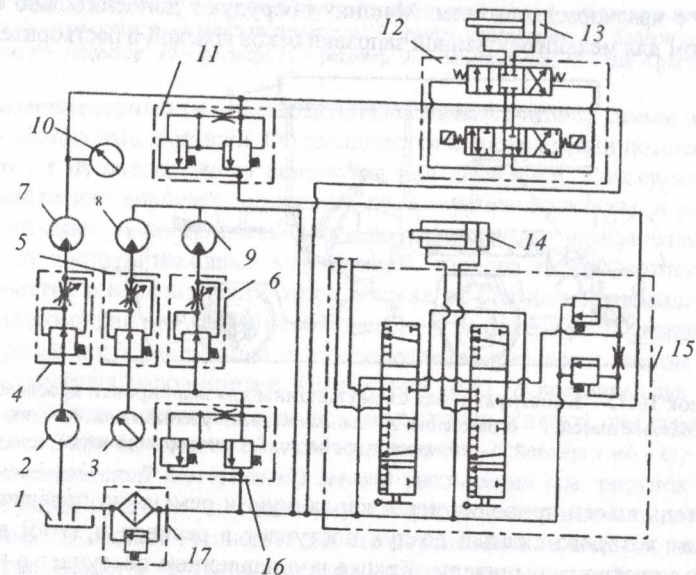


Рисунок 10.43 – Гидросхема маркировочной машины для нанесения термопластика:

1 – бак; 2 – насос; 3, 10 – манометры; 4–6 – дроссели с регуляторами; 7–9 – гидромоторы; 11, 16 – предохранительные клапаны с переливными золотниками; 12, 15 – гидрораспределители; 13, 14 – гидроцилиндры; 17 – фильтр

Гравитационный метод основан на вытекании из специального сопла машины на обрабатываемую поверхность маркировочного материала под действием собственной силы тяжести. Материал используют в виде консистентной жидкости или в виде расплава. Этот метод часто используют при маркировке термопластичными полимерными составами. Для этого машину оснащают специальными котлами, в которых пластик разогревают выше температуры плавления и самотеком направляют к маркеру (небольшой емкости со щелевым соплом, оснащенным заслонкой, управляемой гидроцилиндром). Из сопла маркера расплав полимера вытекает на подготовлен-

ную поверхность дорожного полотна при движении разметочной машины или разметочной каретки.

Экструзионный метод является более эффективным и производительным методом для нанесения термопластичных полимеров. Он заключается в выдавливании расплава материала с помощью шнека из щелевой головки экструдера под высоким давлением на обрабатываемую поверхность. На рисунке 10.44 представлена конструктивная схема экструдера для нанесения разметки горячими пластиками. Экструдер 1 устанавливают на самоходной тележке с колесами 6. Он представляет собой агрегат, состоящий из двигателя и гидропривода, шнекового питателя 2, резервуара для пластика, системы управления и др. Дизельный двигатель приводит через гидронасос и гидромотор 3 шнековый питатель экструдера 2, который подает расплав полимера через отверстия в распределительной головке 7 на обрабатываемую поверхность. Ширину и конфигурацию отверстий регулируют при помощи затворов, управляемых пневмоцилиндрами 5.

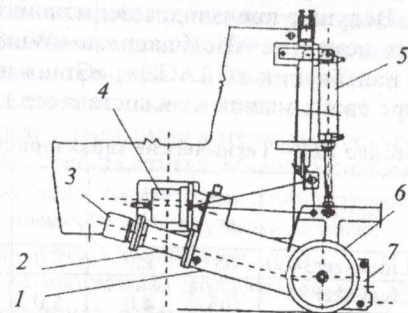


Рисунок 10.44 – Конструктивная схема экструдера для маркировки пластиками: 1 – корпус экструдера; 2 – шнековый питатель подачи расплава пластика; 3 – гидромотор шнекового питателя экструдера; 4 – кронштейн; 5 – пневмоцилиндр подъема-опускания экструдера; 6 – опорное колесо; 7 – выпускная головка экструдера

Помимо основного оборудования для разметки, маркировщики оснащают системой посыпки наносимых разметочных линий световозвращающими элементами, а также устройством ручного напыления краски для нанесения стрелок и знаков вертикальной разметки.

В Беларуси машины и оборудование для дорожной разметки производят несколько предприятий. Лидером является отечественная группа компаний ООО «СТиМ», которая выпускает широкий типоразмерный и модельный ряд разметочных машин и оборудования (около двадцати типов и моделей) – от ручных до магистральных (с массой от 120 до 4000 кг), а также многочисленное вспомогательное оборудование. Ручные, прицепные и самоходные машины дорожной разметки работают с широким спектром современных маркировочных материалов, включая краски, пластики, ленты и др. с использованием различных методов их нанесения.

Самоходные машины комплектуют, как правило, тремя сменными модулями, предназначенными для нанесения разметки краской, термопластиком или пластиком холодного нанесения. Модуль представляет собой комплект покрасочного оборудования и емкостей для компонентов лакокрасочных и полимер-

ных материалов, установленных на общей раме. Автономный ДВС обеспечивает привод гидро- и пневмооборудования для покраски. Машины оснащают несколькими автоматическими и ручными распылительными устройствами для нанесения краски и светоотражающих элементов. Их системы управления позволяют контролировать работу каждого распылителя и устанавливать автоматический, полуавтоматический и ручной режимы работы.

В таблице 10.9 представлены некоторые разметочные машины отечественного и иностранного производства, которые имеют как ручное, так и автоматическое управление, а также в большинстве машин автономный ДВС для привода покрасочного оборудования.

Ведущие производители машин для разметочных работ, в числе которых немецкие «Hoffmann» и «Winter», датская «Borum», американские «Titan Tool» и «GRACO», «Grun» и др., закладывают внушительный ресурс своих машин – он составляет 15–25 лет.

Таблица 10.9 – Технические характеристики разметочных машин

Модель	m , кг	N , кВт	v , км/ч	Ширина линий, мм	Привод	Габариты, мм
LineLazer3400	65	2,9	5,0	100–300	PM	1016×651×813
LineLazer IV-5900	105	4,0	5,0	100–300	PM	1016×651×813
RoadLazer	494	13,0	16,0	100–900	П	–
Hofmann H75/25	50	Нет	10,0	100–300	PM	1400×580×860
Hofmann H5-1	80	3,7	10,0	100–300	PM	1500×800×1050
Hofmann RM50H	120	4,4	10,0	100–300	CM с РУ	1600×1200×1150
Hofmann H75-2500P	18600	180,0*	50,0	100–400	CM	–
СТиМ Контур 30	122	4,4	5,0	–	PM	1850×900×1160
СТиМ Контур 100	980	16,2	6,0	150–300	CM	4400×1300×2100
СТиМ Контур 600	2600	44,7	7,0	150–300	CM	3350×1300×2050
СТиМ Шмельк ХП Структура	72	2,9	–	100–500	CM с РУ	1900×900×1100
СТиМ Шмельк ХП	95	–	5,0	100–240	PM	2000×625×1100
ТМК МДР 4	3200	60,0	15,0	100–400	CM	5300×2400×2600

*Мощность базового шасси.

Примечание – v – рабочая скорость; PM – ручная машина; П – прицепная машина; m – масса; N – мощность автономного ДВС; CM с РУ – самоходная машина с ручным управлением; CM – самоходная машина

Они производят широкий модельный и типоразмерный ряды дорожно-разметочных машин, с помощью которых можно решать любые задачи по горизонтальной и вертикальной разметке. В их числе работы малых объемов по разметке дворовых территорий, производственных площадей, автостоянок и складов, а также работы больших объемов по маркировке дорог и улиц, аэродромов и паркингов. Например, компания «Titan Tool» производит бескомпрессорные машины семи типоразмеров (серии PowtLiner): от модели массой 30 кг (скорость разметки до 1,9 км/ч) до машины массой 169 кг (скорость 16 км/ч). Типоразмерный ряд фирмы «GRACO» составляет более десяти машин, которые обеспечивают маркировку современными материалами горизонтальных и вертикальных объектов в широком диапазоне производительности в зависимости от объемов разметочных работ. Немецкая компания «Winter» производит модельный ряд различных машин (ручных, прицепных и самоходных), с помощью которых наносят современные маркировочные материалы. В их числе одно- и двухкомпонентные краски, а также полимерные материалы (горячие и холодные пластики, горячие и холодные спрей-пластики). Машины снабжают также электронными устройствами управления параметрами линий разметки, включая толщину и длину штрихов и промежутков между ними, а также поддержания заданной температуры маркировочных материалов.

Помимо основного компании также выпускают дополнительное оборудование, в частности ручные демаркаторы, агрегаты для сушки покрытий, валковые распылители стеклошариков (световозвращающих элементов) с ручным управлением, котлы для разогрева термопластичных полимерных материалов и др.

В расчетах маркировочных машин подбирают шасси с учетом заданной производительности, определяют основные параметры краскораспылителей, производят тяговые расчеты, оценивают баланс мощности, устойчивость машины и др.

Расчет пневматического распылителя красок маркировочной машины включает оценку геометрических характеристик распылителя и выбор рациональных режимов его работы, а также определение рабочей скорости машины при окраске.

К исходным данным, необходимым для расчетов, относятся свойства (плотность и вязкость) краски, наибольшая ширина маркировочных линий и норма расхода краски, давление воздуха в пневмосистеме и др.

На рисунке 10.45 показана схема форсунки распылителя. Краска поступает (в результате разрежения до 12–15 Па) в камеру смешивания 4

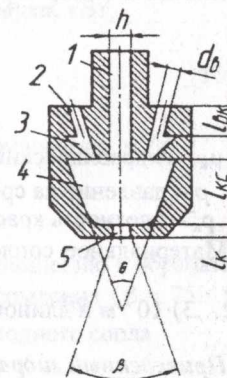


Рисунок 10.45 – Схема форсунки распылителя:

- 1 – сопло для краски;
- 2 – воздушный канал;
- 3 – кольцевой зазор;
- 4 – камера смешивания;
- 5 – выходное сопло

через осевое материальное сопло 1. Туда же подают сжатый воздух (под давлением 0,4–0,6 МПа) через воздушные каналы 2 и кольцевой зазор 3. При этом происходит диспергирование капель краски, после чего двухфазный поток выходит через выходное сопло 5 в виде факела с центральным углом распыления β .

Расход краски, кг/с,

$$Q_k = q_k B_d v_p, \quad (10.67)$$

где q_k – норма расхода краски, кг/м²;

B_d – наибольшая ширина маркировочной линии, м;

v_p – рабочая скорость машины, м/с,

$$v_p = \begin{cases} 1,4 \text{ м/с} & \text{– для улиц,} \\ 2,8 \text{ м/с} & \text{– для загородных дорог.} \end{cases}$$

Объем сжатого воздуха, м³/с,

$$Q_b = \frac{\chi Q_k}{\rho_b}, \quad (10.68)$$

где χ – коэффициент учета концентрации краски после смешивания с воздухом, $\chi = 9,0 \dots 10,5$;

ρ_b – плотность воздуха, кг/м³.

Площадь отверстия материального сопла, м²,

$$S_m = 10 \frac{Q_k}{\mu_k \sqrt{20 \frac{p}{\rho_k}}}, \quad (10.69)$$

где μ_k – гидравлический коэффициент расхода краски, $\mu_k = 0,5 \dots 0,7$;

p – давление на срезе сопла, Па;

ρ_k – плотность краски, кг/м³.

Материальное сопло имеет форму прямоугольной щели шириной $h_m =$

$$(2 \dots 3) \cdot 10^{-3} \text{ м и длиной } B_m = \frac{S_m}{h_m}.$$

Приведенный гидравлический диаметр материального сопла, м,

$$D_r = \frac{2 B_m h_m}{B_m + h_m}. \quad (10.70)$$

Длина камеры смешивания, м, связана с гидравлическим диаметром соотношением

$$l_{кс} = \varepsilon D_r, \quad (10.71)$$

где ε – коэффициент пропорциональности, $\varepsilon = 3,8 \dots 4,0$.

Угол конуса камеры смешивания $\theta = 12^\circ$.

Площадь проходного сечения кольцевого воздушного зазора, м²,

$$S_{кз} = \frac{Q_b}{100 \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \frac{20}{\rho_b} p_b}}, \quad (10.72)$$

где k – показатель адиабаты расширения воздуха, $k = 1,41$;

p_b – давление воздуха, МПа;

ρ_b – плотность воздуха, кг/м³.

После подстановки численных значений

$$S_{кз} \approx \frac{Q_b}{45 \sqrt{p_b}}. \quad (10.73)$$

Диаметр каждого воздушного канала принимают равным 0,03 м, его длину – в 2–3 раза больше диаметра, а число каналов – от 4 до 8.

Площадь поперечного сечения канала выходного сопла, м²,

$$S_b = 2,7 S_m. \quad (10.74)$$

Длину канала выходного сопла l_k принимают равной $(3-4) \cdot 10^{-3}$ м, ширину канала выходного сопла B_b выбирают в пределах $(1,5-2,0) \cdot 10^{-3}$ м.

Мощность привода компрессора для подачи воздуха, кВт,

$$N_{вк} = 10^{-3} \frac{p_b (Q_b + Q_{всп})}{\eta_b \eta_{пк}}, \quad (10.75)$$

где $Q_{всп}$ – расход воздуха для вспомогательного оборудования, м³/с;

η_b – объемный КПД компрессора;

$\eta_{пк}$ – КПД привода компрессора.

Высота установки краскораспылителя, м, по отношению к обрабатываемой поверхности зависит от центрального угла распыления ($\beta = 75 \dots 85^\circ$), толщины маркировочного знака и ширины канала выходного сопла

$$H_{ук} = \frac{B_d - B_b}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}. \quad (10.76)$$

Расчет кинетического распылителя красок состоит в определении размеров и формы сопла краскораспылителя, параметров факела распыляемой краски, подачи плунжерного насоса, параметров гидроаккумулятора и др.

Объемная подача краски плунжерным насосом, $\text{м}^3/\text{с}$,

$$Q_k = \frac{\kappa_n \delta_T B_{\text{л}} v_p}{\kappa_k \kappa_{\text{пот}}}, \quad (10.77)$$

где κ_n — коэффициент изменения толщины слоя краски при высыхании, $\kappa_n = 2,25$;

δ_T — толщина маркировочного знака, $\delta_T = (60 \dots 80) \cdot 10^{-6} \text{ м}$;

κ_k — коэффициент концентрации твердой составляющей в краске, $\kappa_k = 0,4 \dots 0,7$;

$\kappa_{\text{пот}}$ — коэффициент потерь краски при распылении, $\kappa_{\text{пот}} = 0,90 \dots 0,95$.

Площадь выходного отверстия сопла, м^2 ,

$$S_b = 10^{-2} \frac{Q_k}{\mu_k \sqrt{20 \frac{p_b}{\rho_k}}}, \quad (10.78)$$

где μ_k — коэффициент расхода краски, $\mu_k = 0,5 \dots 0,7$;

p_b — давление краски на выходе из сопла, $p_b = 6 \dots 10 \text{ МПа}$;

ρ_k — плотность краски, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Ширину щели выходного отверстия сопла B_b задают в интервале $(1,5 \dots 2,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Высота установки краскораспылителя, м , по отношению к обрабатываемой поверхности

$$H_{\text{ук}} = \frac{B_{\text{л}} - B_b}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}, \quad (10.79)$$

где $\beta = 51 \dots 63^\circ$.

Частота вращения вала плунжерного насоса высокого давления, с^{-1} ,

$$n_n = \frac{Q_k}{\eta_n F_{\text{пл}} l_{\text{хп}}}, \quad (10.80)$$

где η_n — объемный КПД насоса, $\eta_n = 0,58 \dots 0,86$ (меньшие значения соответствуют вязким краскам);

$F_{\text{пл}}$ — площадь плунжера (поршня) насоса, м^2 ;

$l_{\text{хп}}$ — длина хода плунжера, м .

Мощность привода плунжерного насоса, кВт,

$$N_{\text{пп}} = 10^3 \frac{p_n Q_k}{\eta_n^2 \eta_{\text{пп}}} = 10^3 \frac{p_n F_{\text{пл}} l_{\text{хп}} n_n}{\eta_n \eta_{\text{пп}}}, \quad (10.81)$$

где p_n — давление краски на выходе насоса, МПа;

$\eta_{\text{пп}}$ — КПД привода насоса.

Объем ресивера высокого давления, м^3 ,

$$V_p = \frac{p_n F_{\text{пл}} l_{\text{хп}}}{\kappa_d p_b}, \quad (10.82)$$

где κ_d — коэффициент допустимых колебаний давления на выходе ресивера,

$\kappa_d = 0,05 \dots 0,10$;

p_b — начальное давление воздуха в гидроаккумуляторе, $p_b = 3 \dots 0,5 \text{ МПа}$.

При использовании плунжерного насоса необходимо устранить неравномерность давления из-за пульсирующей подачи насоса. Для этого в систему вводят гидроаккумулятор, который обеспечивает стабилизацию давления и увеличение КПД системы в целом.

Объем гидроаккумулятора, м^3 ,

$$V_{\text{га}} = F_{\text{пл}} l_{\text{хп}} \left[\frac{1}{(1 - \tau)^{0,87} - 1} + \kappa_{\text{зап}} \right], \quad (10.83)$$

где τ — коэффициент неравномерности давления краски на входе в ресивер из-за пульсирующей подачи насоса,

$$\tau = \frac{p_{\text{max}} - p_{\text{min}}}{p_{\text{max}}}, \quad (10.84)$$

p_{max} , p_{min} — соответственно максимальное и минимальное давление краски на входе в ресивер;

$\kappa_{\text{зап}}$ — коэффициент запаса, $\kappa_{\text{зап}} = 6 \dots 8$.

Эксплуатационная производительность маркировочной машины, $\text{м}^2/\text{ч}$, зависит от вместимости бака для краски и при горизонтальной разметке

$$\Pi_3 = \frac{\kappa_b \kappa_n}{q_{\text{рк}}} \frac{V_{\text{бк}}}{T_{\text{ц}}}, \quad (10.85)$$

где κ_b — коэффициент использования машины по времени, учитывающий объективные потери времени;

κ_n — коэффициент наполнения бака краской;

$V_{\text{бк}}$ — вместимость бака для краски, л;

$q_{\text{рк}}$ — удельный расход краски, $\text{л}/\text{м}^2$;

$T_{\text{ц}}$ — время цикла, ч.

Цикл работы машины включает время, затраченное на разметку, окраску, переезд к месту заполнения бака краской и его заполнение краской.

Продолжительность окраски, ч,

$$t_{\text{окр}} = \frac{K_n V_{\text{ок}}}{q_{\text{рк}} B_d v_p} \quad (10.86)$$

Продолжительность переезда к месту заполнения бака краской, ч,

$$t_{\text{пер}} = \frac{l_{\text{зб}}}{v_{\text{тр}}}, \quad (10.87)$$

где $l_{\text{зб}}$ – расстояние от места окраски до места заправки, м;

$v_{\text{тр}}$ – транспортная скорость, м/ч.

Демаркировщики (демаркираторы) предназначены для удаления слоя старой разметки с поверхности дорожного покрытия без его повреждения. Удаление разметочных линий и знаков осуществляют в двух случаях: во-первых, при введении новой схемы организации дорожного движения; во-вторых, при наличии их износа и повреждений, затрудняющих полноценное восстановление линий и знаков разметки.

Как правило, компании, разрабатывающие машины для маркировки, также выпускают и оборудование для демаркировки. В связи с широким ассортиментом материалов, используемых для маркировки и обладающих разными свойствами, для их удаления с поверхности дорожного полотна требуются различные технологические подходы. Маркировочные слои красок и пластиков имеют различные показатели износостойкости и твердости, а также прочности сцепления с поверхностью дорожного покрытия, что следует учитывать при выборе метода их удаления.

Существуют следующие методы удаления разметки:

- механический (специальными фрезами и металлическими щетками);
- термический (путем выжигания);
- гидродинамический (струей воды под давлением до 140 МПа);
- газодинамический (струей сжатого воздуха);
- химический (реагентами, которые при нанесении на элементы разметки разъедают их в месте контакта);
- комбинированный (гидропескоструйное воздействие; фрезерование и последующая химическая обработка и др).

Наиболее распространенным оборудованием для демаркировки являются самоходные установки с механическим воздействием на обрабатываемое покрытие. В качестве примера на рисунке 10.46 приведена схема демаркировщика фирмы «Hoffmann». Он представляет собой самоходное трехколесное устройство, снабженное фрезерным рабочим органом, двигателем внутреннего сгорания мощностью 8 кВт и механизмами управления. Рабочий орган состоит из четырех фрез, которые одновременно

опускают на обрабатываемую поверхность при помощи ручного рычага 6. Глубину срезания фрезами старого разметочного слоя регулируют позиционным винтом 4. Скоростью прямого и реверсивного движения управляют при помощи регулировочного винта 11. Привод хода ведущего переднего колеса 1 осуществляют от двигателя 3 через вертикальный карданный вал, редуктор и ременную передачу.

Рисунок 10.46 – Демаркировщик:
1 – ведущее колесо; 2 – привод фрез;
3 – двигатель; 4 – регулировочный винт управления глубиной обработки;
5 – рычаг управления движением машины вперед-назад; 6 – рычаг управления отбойным устройством; 7 – тормоз; 8 – заднее опорное колесо;
9 – крепление груза;
10 – дополнительные грузы;
11 – регулировочный винт управления скоростью

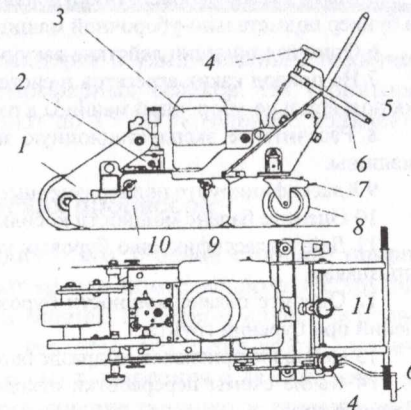


Схема рабочего органа демаркировщика приведена на рисунке 10.47.

Он представляет собой отбойное устройство 1, защищенное кожухом 6. Фрезы с зубьями 5 установлены на колесе 4, которое приводится во вращение от вала 2 клиноременной передачей 7. Для качественной очистки от старой разметки все четыре отбойных элемента, т. е. фрезы, должны одновременно контактировать с обрабатываемой поверхностью.

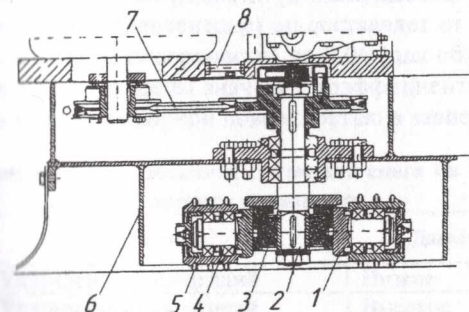


Рисунок 10.47 – Схема рабочего органа демаркировщика:
1 – отбойное устройство;
2 – ведущий вал; 3 – упругий элемент; 4 – отбойное колесо;
5 – зуб; 6 – кожух; 7 – клиноременная передача; 8 – натяжное устройство

Кроме своих прямых функций по удалению старой разметки демаркировщик может выполнять работы по приданию дорожному покрытию заданной степени шероховатости.

Контрольные вопросы

- 1 Классифицируйте поливомоечные машины по основным признакам.
- 2 Какие компоненты учитывают при оценке баланса мощности поливомоечной машины в рабочем режиме?
- 3 Рассчитайте эксплуатационную производительность поливомоечной машины.
- 4 Классифицируйте подметально-уборочные машины по основным признакам.
- 5 Какие схемы рабочего оборудования используют для транспортирования смета в бункер подметально-уборочной машины?
- 6 Опишите принцип действия вакуумного подборщика смета.
- 7 На привод каких агрегатов и систем затрачивается мощность силовой установки подметально-уборочной машины в рабочем режиме?
- 8 Рассчитайте эксплуатационную производительность подметально-уборочной машины.
- 9 Классифицируйте полноразмерные косилки по основным признакам.
- 10 Оцените баланс мощности косилки в рабочем режиме.
- 11 Дайте классификацию буровых установок для посадки деревьев по основным признакам.
- 12 Оцените баланс мощности буровой установки с учетом основных сопротивлений при бурении грунта.
- 13 По каким признакам подразделяют рубильные машины?
- 14 Какие схемы переработки отходов используют в рубильных машинах барабанного типа?
- 15 Какие методы нанесения красок используют при разметке и маркировке проезжей части дорог и улиц?
- 16 Рассчитайте эксплуатационную производительность маркировочной машины.

11 МАШИНЫ ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ГОРОДСКИХ ДОРОГ

Особенности зимнего содержания дорог и улиц связаны с наличием, количеством и структурой атмосферных осадков. На территории Беларуси осадки в виде снега составляют до 15–20 % годового количества всех осадков.

11.1 Особенности технологических процессов

Снежно-ледяной покров дорог и улиц – это, с одной стороны, опорная поверхность, с которой взаимодействуют колеса автотранспорта, а с другой – объект разработки рабочими органами машин. В первом случае основной характеристикой снежного покрытия является его скользкость, количественный показатель которой – коэффициент сцепления с движителями машин. Во втором – его твердость, сопротивление резанию и скалыванию, а также трение рабочих органов по снегу.

Изменения, которые снежно-ледяные образования вносят в дорожное движение, требуют их оперативной уборки с поверхности дорожного покрытия. Достаточно привести один пример для того, чтобы оценить важность проблемы очистки. Если коэффициент сцепления колеса с поверхностью сухого асфальтобетонного покрытия достигает 0,50–0,65, то для заснеженной поверхности (в зависимости от состояния снежного покрова, включая и обледенение) он составляет от 0,30 (для покрытой рыхлым мокрым снегом поверхности) до 0,06 (для обледенелой поверхности). В таблице 11.1 приведены значения коэффициента сцепления колесного движителя со снежной опорной поверхностью в зависимости от состояния снега.

Таблица 11.1 – Влияние состояния снега на коэффициент сцепления пневмоколесного движителя

Снег	Давление в шинах	Коэффициент сцепления
Уплотненный замерзший	Низкое	0,20–0,35
Уплотненный замерзший	Высокое	0,20–0,25
Уплотненный оттаявший	Любое	0,10–0,20
Утрамбованный замерзший	Высокое	0,209
Утрамбованный оттаявший	Высокое	0,176
Оттаявший	Низкое	0,06–0,08

Даже для гусеничной ходовой системы (без грунтозацепов) коэффициент сцепления на обледенелой поверхности не превышает 0,1–0,3, а на укатанной снежной поверхности составляет 0,3–0,4. Грунтозацепы увеличивают сцепление на обледенелой поверхности до 0,4–0,5, а на укатанной снежной – до 0,6–0,8.

Физико-механические характеристики снежно-ледяных образований зависят от многих факторов, в числе которых качество и оперативность очистки дорог. Условия контакта с колесами автотранспортных средств влияют на плотность снега и, как следствие, на его физико-механические характеристики. Отметим, что плотность снега может изменяться в широких пределах – от 10 (свежевыпавшего снега) до 950 кг/м³ (льда) (таблица 11.2).

Таблица 11.2 – Характеристики снега

Снег	Плотность, кг/м ³	Твердость*, МПа	Сопротивление резанию, МПа	Коэффициент сопротивления движению $k_{\text{спр}}$
Свежевыпавший	10–200	0,02	0,001	0,30
Слабоуплотненный	220–300	0,2–0,6	0,005–0,010	0,20–0,25
Уплотненный слежавшийся	300–400	0,3–1,5	0,010–0,025	0,15–0,20
Старый слежавшийся	480–520	0,2–0,4	0,025–0,080	0,08–0,10
Уплотненный накат	550–700	0,4–3,0	0,1–0,5	0,08–0,10
Снежно-ледяной накат	700–950	–	1,0–2,5	0,06–0,10
При температуре от –1 до –20 °С.				

Помимо упомянутых характеристик снега при его взаимодействии с рабочими органами машин следует учитывать параметры, влияющие на процессы внешнего и внутреннего трения снега.

Во-первых, это внешнее трение снега по стальной поверхности рабочего органа, которое характеризуют коэффициентом внешнего трения f_1 . В таблице 11.3 представлены показатели коэффициента трения f_1 снега по стали в зависимости от его плотности и температуры.

Таблица 11.3 – Влияние состояния снега на коэффициент его внешнего трения

Плотность, кг/м ³	Температура, °С		
	+2...–1	–4	ниже –16
80–120	0,18	0,10	0,14
150–200	0,11	0,08	0,10
250–300	0,09	0,07	0,08
350–400	0,08	0,05	0,06
450	0,06	0,04	0,05
480	0,05	0,03	0,04
520	0,04	0,03	0,03
550	0,03	0,02	0,02

Во-вторых, это внутреннее трение снега, которое связано с взаимодействием частиц снега между собой при их смещении друг относительно друга. Этот вид трения возникает при перемещении снега по снежной поверхности, например, в виде призмы волочения перед отвалом снегоуборочного бульдозера. Внутреннее трение характеризует коэффициент внутреннего трения f_2 . В таблице 11.4 представлены показатели коэффициента трения f_2 в зависимости от плотности и температуры снега.

Таблица 11.4 – Влияние состояния снега на коэффициент его внутреннего трения

Плотность, кг/м ³	Температура, °С		
	+2...–1	–4	< –10
120	0,24	0,29	0,34
200	0,30	0,33	0,36
300	0,35	0,39	0,46
400	0,40	0,44	0,50
500	0,43	0,49	0,53
560	0,45	0,50	0,57

Зимнее содержание дорог и улиц должно обеспечивать безаварийное передвижение транспорта по автомагистралям и его безопасный скоростной режим, комфортное передвижение пешеходов по тротуарам и переходам, а также оперативное восстановление движения после экстремальных снежных заносов.

Для решения этих задач используют следующие технологические процессы:

- патрульную очистку дорог и улиц, а также их расчистку от интенсивных снежных завалов;
- очистку перекрестков дорог и улиц, а также тротуаров;
- расчистку площадок в зонах ограниченного передвижения;
- погрузку снега из валков в автотранспортные средства;
- транспортирование снега в места его свалки или плавления;
- обработку антигололедными материалами.

Активные снегопады с обильным выпадением снега, которые время от времени наблюдаются на территории Беларуси, требуют незамедлительного реагирования для обеспечения бесперебойного сообщения как в населенных пунктах, так и за их пределами. При этом содержание городских дорог предусматривает большой расход химических противогололедных материалов по сравнению с загородными дорогами, на которых снег убирают в основном без химических реагентов.

Для зимнего содержания дорог используют комплекты и комплексы машин, которые обеспечивают механизацию работ по очистке от снега и его

уборке. К ним относятся снегоочистители, снегопогрузчики, пескоразбрасыватели и льдоскалыватели.

Наибольшее применение имеют снегоочистители, которые эксплуатируются в течение всего зимнего периода. По типу рабочего органа и его взаимодействию со снегом различают плужные и роторные снегоочистители.

11.2 Плужные снегоочистители

Плужные снегоочистители (ПС) предназначены для патрульной очистки дорог и улиц от снега. Их основным рабочим органом является снежный плуг (отвал), который устанавливают под заданным углом к направлению движения машины. Кроме того, они могут иметь другие рабочие органы, например, щеточное оборудование и дополнительные отвалы, расширяющие зону их действия.

ПС классифицируют по следующим основным признакам:

- по виду действия рабочего органа – сдвигающего, сдвигающе-очищающего и сдвигающе-отбрасывающего;
- по типу шасси – пневмоколесные (на базе автомобиля, тягача и автогрейдера) и гусеничные (на базе трактора);
- по конструкции рабочего органа – одно- и двухотвальные;
- по виду отвала – с неповоротным и поворотным отвалом;
- по форме отвала – с отвалом цилиндрической и конической формы;
- по виду работ – специализированные снегоочистители и универсальные (комбинированные) машины для круглогодичного содержания дорог.

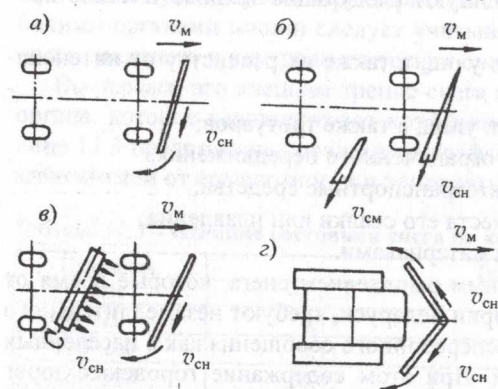


Рисунок 11.1 – Схемы плужных снегоочистителей:

- а – одноотвальный на пневмоколесном шасси;
б – одноотвальный скоростной с открылком;
в – плужно-щеточный; г – двухотвальный на гусеничном шасси

ПС сдвигающего действия (рисунок 11.1, а, г) выпускают в основном в виде навесного сменного оборудования к тягачам, тракторам и автогрейдерам, которые обеспечивают очистку полосы за один проход благодаря большой силе тяги и курсовой устойчивости. Они разрабатывают одноотвальным плугом снег толщиной до 0,3–0,4 м на пневмоколесном шасси и двухотвальным – толщиной до 1,0–1,5 м на гусеничном шасси. Скорость очистки дорог этими машинами ограничивается 10 км/ч для пневмоколесного шасси и 6 км/ч – для

гусеничного. Поэтому их используют при небольших объемах работ для уборки снега с улиц и дорог местного значения.

Наибольшая эффективность ПС сдвигающего действия достигается при очистке поверхности дорожных покрытий от свежес выпавшего неуплотненного снега.

Основными элементами ПС являются снежный плуг с механизмом управления его положением, опорное устройство (лыжи или опорные ролики), подвеска с толкающей рамой, система амортизации и предохраняющее устройство. Плуг состоит из отвала, ножей и рамы. Нижнюю кромку отвала оснащают секционными резиновыми ножами, которые закрепляют болтовыми соединениями. Отвал крепят на поворотной раме, обеспечивающей заданный угол его поворота в плане. Как правило, угол между отвалом и продольной осью машины составляет 70–90°. В свою очередь, раму через шарниры соединяют с толкающими штангами тяговой рамы, которую крепят к лонжеронам шасси. Штанги могут выполнять функции амортизаторов, предохраняющих раму базового шасси от ударных нагрузок.

Плужно-щеточные снегоочистители сдвигающе-очищающего действия (рисунок 11.1, в) имеют одноотвальный плуг и цилиндрическую щетку, которые обеспечивают разработку свежес выпавшего снега толщиной 0,2–0,4 м со скоростью более 10–20 км/ч на пневмоколесном шасси. В таблице 11.5 приведены технические характеристики специализированных ПС на базе трактора МТЗ.

Как правило, после прохода плужных и плужно-щеточных машин снег сдвигают к обочинам.

ПС сдвигающе-отбрасывающего действия (рисунок 11.1, б) разрабатывают снег толщиной до 0,2–0,4 м со скоростью более 25 км/ч. Наличие отвала конической формы обеспечивает дальность отбрасывания снега до 10–15 м, поэтому их используют в основном на загородных дорогах.

Таблица 11.5 – Технические характеристики плужно-щеточных снегоочистителей

Параметр	Беларус-320МК*	КО-812-2	УМТ-80/82	МТЗ-82МК-01	МУП-351
Мощность, кВт	25	59,6	59,6	59,6	59,6
Ширина полосы обработки, м:					
отвалом	1,56	2,5	2,16	2,5	2,1
щеткой	1,3	1,8	1,8	1,8	1,8
Длина отвала, м	1,8	2,5	2,5	2,8	2,2
Скорость, км/ч:					
рабочая	До 10	До 10	До 12	До 12	До 12
транспортная	25,0	25,0	25,0	25,0	33,4
Масса, кг	1800	4940	4260	5080	5460

* Базовое шасси – МТЗ-320, у остальных – МТЗ-80/82.

Для оперативной очистки магистральных дорог и больших площадей от свежеснегавшего снега ряд производителей выпускает специализированные высокоскоростные снегоуборочные бульдозеры на пневмоколесном ходу. Такие конструктивные особенности, как автоматическая трансмиссия со встроенным устройством блокировки, механизм динамического демпфирования, специальная подвеска с поглотителем ударных нагрузок, шины с эффективным рисунком протектора существенно расширяют технологические возможности колесных бульдозеров. В частности, их скорость уборки свежеснегавшего снега на дорогах общего назначения достигает 40–70 км/ч при высокой курсовой устойчивости машины и повышенном качестве очистки дорожного полотна. Например, японская компания «Kawasaki» выпускает снегоуборочные бульдозеры, типоразмерный ряд которых охватывает семь моделей в диапазоне от 6 до 19 т. Схема одного из них с отвалом длиной 3,2 м представлена на рисунке 11.2. Их производительность значительно выше, чем автогрейдеров, что во многом обусловлено наличием автоматической коробки передач, позволяющей оперативно переводить рабочие режимы с одной скоростной ступени на другую.

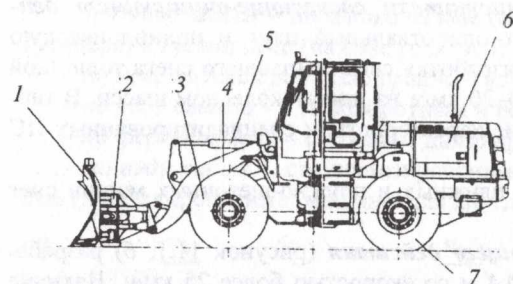


Рисунок 11.2 – Схема конструкции снегоуборочного бульдозера:

1 – отвал; 2 – подвеска; 3, 7 – колеса; 4 – стрела; 5 – гидроцилиндр; 6 – двигатель

фирма «Hitachi Kanki» выпускает плуги, которые используют для выполнения девяти видов различных снегоуборочных работ. Это достигается за счет наличия эффективной гидросистемы управления положением плуга, а также возможностью изменения формы отвала. Так, некоторые модели способны принимать как V-образную, так и U-образную форму. При V-образной форме (углом вперед) плуг работает как двухотвальный, а при U-образной захватывает максимально возможный объем снега в призме волочения.

Кроме того, для уборки снега на ограниченных рабочих площадках применяют специализированные погрузчики, оснащенные погрузочными ковшами. Их используют для очистки перекрестков дорог и улиц, для по-

грузки снега в транспортные средства, а также при его транспортировке на короткие расстояния. Как правило, ведущие производители выпускают типоразмерные ряды погрузчиков. Например, японская фирма «Kobelco Kanki» выпускает девять моделей погрузчиков, которые охватывают основной параметр машины – ее массу – в интервале от 2 (минипогрузчики) до 15 т (большегрузные погрузчики). Кроме того, погрузчики снабжают различными видами сменного рабочего оборудования. В их числе погрузочные ковши и снежные плуги многоцелевого назначения с дополнительным оборудованием, которое позволяет выполнять разнообразные снегоуборочные работы. В частности, боковые выдвижные или поворотные элементы отвала увеличивают ширину захвата, опорные устройства позволяют отвалу копировать профиль рельефа полотна, а система управления позволяет регулировать углы резания и наклона отвала.

Следует отметить, что оснащение современных машин только снежным плугом или отвалом (т. е. создание узкоспециализированных машин) является большой редкостью, поскольку зимнее содержание дорог и улиц охватывает более широкий спектр дорожных работ. Более того, машины стараются сделать всесезонными и многофункциональными, чтобы избежать длительных сезонных простоев дорожной техники.

Комбинированные дорожные и уборочные машины (КДМ) используют для всесезонной уборки дорог и улиц (см. рисунок 10.7). В соответствии с сезоном их оснащают оборудованием для очистки дорог, обочин и строений от смета и снега, мойки дорог, обработки химическими и фрикционными противогололедными материалами (ПГМ), а также другими агрегатами.

КДМ разделяют по следующим признакам:

1) *по способу агрегатирования* – на базе грузового шасси, как навесное и прицепное оборудование к колесному трактору;

2) *по типу грузового шасси* – с колесной формулой 6×4 (6×6) и 4×2;

3) *по типу модульного оборудования* – для зимнего (с оборудованием для очистки дорог от снега и устройствами для распределения ПГМ) и летнего (с поливомоечным и щеточным оборудованием) содержания дорог;

4) *по месту установки оборудования* – на раме шасси и на самосвальной платформе;

5) *по способу смены оборудования* – с помощью кранового механизма и системы (тросовой или крюковой) «мультилифта».

КДМ оснащают цистернами и бункерами объемом от 2 до 15 м³. Технологическое оборудование обеспечивает зону мойки в диапазоне 2–20 м,

зону распределения противогололедных материалов (ПГМ) от 2 до 10 м, зону действия щетки и отвала до 2–3 м.

Зимнее содержание дорог включает две основные операции: механическую уборку снега и ледяных отложений и распределение ПГМ. В зависимости от комплектации машины оснащают набором агрегатов, который содержит снежные отвалы (обычный и скоростной), кузов трапециевидного сечения или цистерну, распределитель твердых ПГМ (солепесчаных смесей, гранитной крошки и др.), распределитель жидких ПГМ и щеточное оборудование для очистки дорог от рыхлого снега.

Для установки и смены оборудования используют различные способы и устройства для их осуществления. Во-первых, сменные кузова (цистерны, бункеры и др.) и другие части технологического оборудования размещают на шасси грузовика или на платформе самосвала с помощью кранов и специальных домкратов, скоб и приставок. Во-вторых, сменные кузова устанавливают на раму шасси с помощью системы (тросовой или крюковой) «мультилифта», которой оснащают КДМ. Крюковая система представляет собой погрузочно-разгрузочный механизм с гидроприводом и крюковым захватным устройством, которым водитель может управлять, не выходя из кабины.

Как было отмечено, для круглогодичной загрузки КДМ их оснащают оборудованием для летней эксплуатации. В их числе цистерна, щеточное оборудование и устройство для подачи воды под давлением. Мойку улиц и обстановки осуществляют через водяные форсунки высокого давления, а очистку от смета – щетками (в зависимости от комплектации они могут быть передними, средними и задними).

Для очистки дорог от снега используют снежные отвалы различной конструкции. Передний отвал снабжают резиновым ножом, повторяющим профиль дороги. Для расширения зоны очистки нередко используют боковые отвалы. Для удаления плотных и накатанных слоев снега на месте щетки устанавливают отвал, оснащенный стальным ножом.

В зависимости от объема дорожных работ используют две группы машин. Во-первых, машины на шасси с колесной формулой 6×4 или 6×6 для обслуживания автомагистралей и широких улиц, где требуется высокая производительность. Примером машины для скоростной очистки магистралей может служить КДМ МАЗ-МАН 752559 на шасси серийного самосвала. Рабочее оборудование машины включает два скоростных снежных отвала (передний и боковой), которые позволяют вести уборку снега с максимальной зоной очистки до 6,58 м, захватывая при необходимости две полосы движения (с перекрытием зоны действия отвалов более 0,4 м) на скоростях до 80 км/ч.

Во-вторых, машины на шасси 4×2, имеющие высокую маневренность, для работы в условиях плотной городской инфраструктуры (с узкими дворовыми проездами и затруднениями при развороте техники). Один из вариантов машины с колесной формулой 4×2 представлен на рисунке 11.3. Машину оснащают плужно-щеточным и пескоразбрасывающим оборудованием. Плужно-щеточное включает фронтально расположенный снежный плуг 4 для скоростной очистки дорожных покрытий и систему подвески, обеспечивающей копирование профиля дорожного полотна и устранение последствий возможного наезда на препятствие, а также цилиндрическую щетку 5, очищающую полотно при скоростях до 50–70 км/ч. Щетку (диаметром 550–750 мм) с помощью кронштейнов крепят к раме машины снизу между передней и задней осями. Привод щетки осуществляют либо напрямую от высокомоментного гидромотора, либо от низкомоментного гидромотора через планетарный редуктор или цепную передачу.

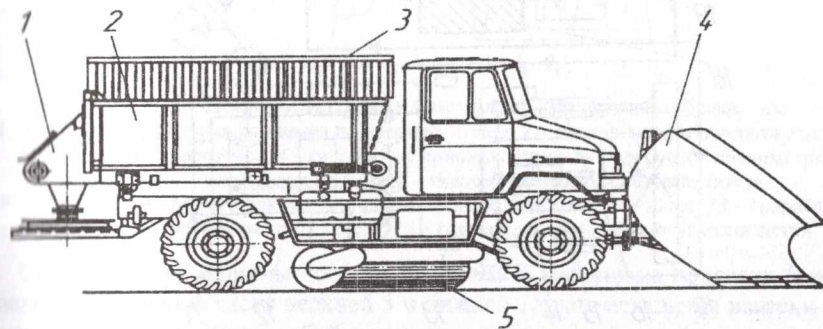


Рисунок 11.3 – Конструктивная схема снегоочистителя:

1 – распределитель сыпучих антигололедных материалов; 2 – бункер для сыпучих антигололедных материалов; 3 – сортирующая решетка; 4 – фронтальный снежный плуг для скоростной очистки; 5 – цилиндрическая щетка

Пескоразбрасывающее оборудование состоит из кузова, раздаточного бункера 2 с сортирующей решеткой 3 и распределителя 1.

На рисунке 11.4 приведена кинематическая схема комбинированной машины, содержащей упомянутые агрегаты. От коробки отбора мощности 2, установленной на коробке передач 22, приводят шестеренные гидронасосы 1 и 7. Коробкой управляет пневматика, а именно пневмоцилиндры 3 и 4 механизма включения коробки. Сжатый воздух в пневмоцилиндры поступает от воздухораспределителя системы пневмотормозов. Гидросистема обеспечивает привод и управление рабочими органами

машины. Вращение щетки 18 дает гидромотор 21 через цилиндрическую 20 и цепную 19 передачи. Управление отвалом 17 осуществляют гидроцилиндры 14–16. Разбрасывающий диск 11 напрямую приводят от гидромотора 10.

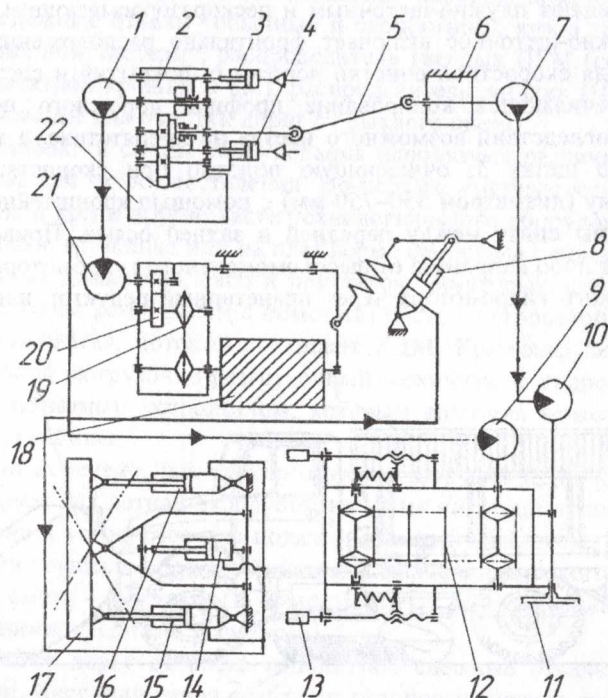


Рисунок 11.4 – Кинематическая схема комбинированной машины:

- 1, 7 – гидронасосы; 2 – коробка отбора мощности; 3, 4 – пневмоцилиндры; 5 – карданный вал; 6 – опора промежуточная; 8 – гидроцилиндр подъема-опускания щетки; 9 – гидронасос; 10 – гидромотор разбрасывателя; 11 – разбрасывающий диск; 12 – транспортер; 13 – натяжное устройство; 14 – гидроцилиндр подъема-опускания отвала; 15, 16 – гидроцилиндры поворота отвала; 17 – поворотный отвал; 18 – щетка; 19 – цепная передача; 20 – редуктор; 21 – гидромотор привода щетки; 22 – коробка передач

Принципиальная гидросхема машины с оборудованием для зимнего содержания улиц (с пескоразбрасывающим оборудованием, поворотным отвалом и средней щеткой) представлена на рисунке 11.5. Шестеренный насос 12 приводит в действие гидромоторы привода щетки 4, транспортера 5 и разбрасывателя ПГМ 8, а также обеспечивает управление рабочими органами с помощью гидроцилиндров 1, 2 и 16.

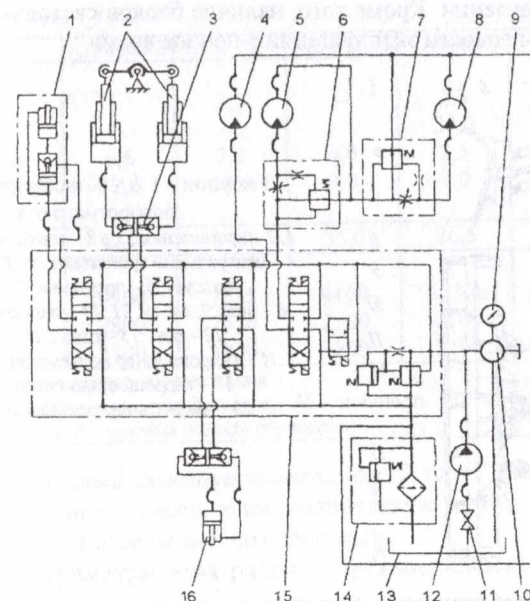


Рисунок 11.5 – Принципиальная гидросхема комбинированной машины

- 1 – гидроцилиндр подъема-опускания поворотного отвала; 2 – гидроцилиндры поворота отвала; 3 – двухсторонний гидрозамок; 4 – гидромотор привода щетки; 5 – гидромотор привода транспортера; 6, 7 – регуляторы расхода; 8 – гидромотор привода разбрасывателя; 9 – манометр; 10 – штуцер для манометра с заглушкой; 11 – кран; 12 – насос; 13 – гидробак; 14 – фильтр; 15 – гидрораспределитель; 16 – гидроцилиндр подъема-опускания щетки

Снежный плуг машины состоит из отвала и механизма подвески (рисунок 11.6). Передние части верхней 3 и нижней 18 рам механизма навески отвала соединяются между собой центральным кронштейном 4 и пальцами, а задние части – серьгами и пальцами 21 и 23. Образованный указанными элементами параллелограмм крепится к кронштейнам 1 и 2. Он обеспечивает колебательное движение вокруг оси пальцев 21 и 23.

На оси центрального кронштейна 4 размещают отвал 13. Такое крепление отвала обеспечивает поперечное качение отвала вокруг горизонтальной оси на угол до 5° в обе стороны. Пружины 11 фиксируют отвал в верхнем транспортном положении. Гидроцилиндр 16 обеспечивает управление положением отвала в вертикальной плоскости. Гидроцилиндры 17 поворачивают отвал в вертикальной плоскости (влево – вправо) на угол до 30° относительно его поперечного положения. В нижней части отвала 13 устанавливают резиновый секционный нож 8, болтовое крепление которого позволяет изменить положение ножа с учетом его износа в процессе эксплуатации. Конструкция подвески отвала дает возможность избежать поломок при наезде на непреодолимое препятствие и обеспечить копирование дорожного полотна в

продольном направлении. Кроме того, наличие блоков световозвращателей 5 способствует безопасности эксплуатации в ночное время.

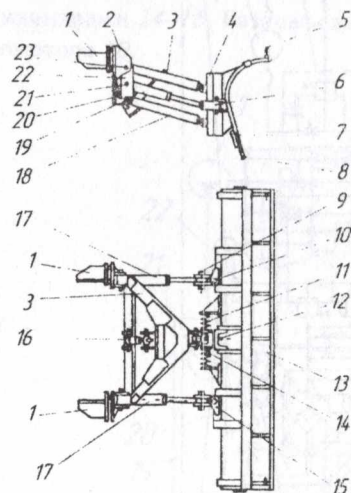


Рисунок 11.6 – Конструктивная схема поворотного отвала:
1, 2 – кронштейны; 3, 18 – верхняя и нижняя рамы;
4 – центральный кронштейн; 5 – блок световозвращателей; 6 – проушина; 7 – пластина;
8 – нож; 9, 14, 19, 21, 23 – пальцы; 11 – пружина;
12 – ось; 13 – отвал; 10, 15 – уши;
16 – гидроцилиндр подъема-опускания отвала;
17 – гидроцилиндр поворота отвала;
20 – амортизатор резиновый; 22 – серьга

Наиболее востребованным на постсоветском пространстве в качестве базы комбинированных машин является шасси грузовых автомобилей (в том числе самосвалов) МАЗ. По данным предприятия, в настоящее время отечественные и зарубежные производители используют более 50 моделей при выпуске около 20 серий комбинированных дорожных машин с колесной формулой от 4×2 до 6×6. Кооперация с ведущими зарубежными фирмами повышает эффективность использования и обеспечивает заданный ресурс рабочего оборудования, ходовой и других систем машин. В таблице 11.6 приведены характеристики некоторых комбинированных машин на базе грузовых автомобилей МАЗ.

Расчет плужного снегоочистителя зависит от набора рабочих органов и включает определение геометрических параметров рабочего органа, баланс мощности, тяговый расчет, оценку устойчивости машины и др.

Таблица 11.6 – Технические характеристики комбинированных машин для содержания дорог

Параметр	КДМ МАЗ	ТКМ-760*	КДМ МАЗ	АГ823	АГ806	АГ713
Базовое шасси	МАЗ-МАН 752559	МАН TGS 33400	МАЗ-МАН 652558	МАЗ-6303	МАЗ-5340	МАЗ-4381
КФ	6×4	6×4	6×4	6×4	4×2	4×2
N, кВт	324	294	294	243	168	125
q _к , м ³	9,0	9,0	8,5	3,1	4,1	4,5
V _ц , м ³	5,4	10,0	2,2	13,8	3,9	3,6

Окончание таблицы 11.6

Параметр	КДМ МАЗ	ТКМ-760*	КДМ МАЗ	АГ823	АГ806	АГ713
B, м:						
– подметания	–	2,5	–	2,3	2,3	2,3
– поливки	–	–	–	20,0	20,0	12,0
– снегоочистки	6,6	2,5	6,0	2,5	2,5	2,5
– распределения реагентов	12,0	12,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Масса, т	41,0	33,0	35,0	26,5	18,0	12,5
Габариты, мм:						
длина	9500	7535	9100	11300	9800	9300
ширина	2800	2550	2850	3100	3100	3050
высота	3300	3350	3200	3200	3200	3200
* Габариты без навесного оборудования						
Примечание – КФ – колесная формула; N – мощность ДВС; q _к – вместимость кузова; V _ц – объем цистерны; B – ширина полосы обработки.						

Плужно-щеточный снегоочиститель имеет плуг, установленный в передней части базового шасси, и цилиндрическую щетку, которую располагают между осями машины или позади шасси.

Основные параметры этих рабочих органов зависят от габаритов базового шасси.

Ширина захвата щетки B_щ, м,

$$B_{щ} = B_{ш} + (0,1...0,2), \quad (11.1)$$

где B_ш – расстояние между внешними поверхностями задних колес шасси, м.

Ширина захвата плуга B_{пл}, м,

$$B_{пл} = B_{щ} + (0,2...0,3). \quad (11.2)$$

Длину щетки и плуга определяют с учетом ширины захвата и угла их установки (захвата снега) по отношению к продольной оси машины.

Внешний диаметр щетки принимают в диапазоне от 0,55 до 0,75 м. Диаметр ворса зависит от материала волокон: для поликапроамидного (капронового) он составляет 0,30–0,35 мм, для стального – 0,08–0,10 мм.

Тяговый расчет плужного снегоочистителя зависит от скорости рабочего процесса. ПС, которые эксплуатируются в городе, являются тихоходными, за городом – скоростными, что отражается на наборе сопротивлений.

Для тихоходного плужного снегоочистителя при взаимодействии плуга со снегом учитывают следующие сопротивления:

- резанию снега W_р;
- перемещению призмы волочения снега W_{пр};
- перемещению снега вдоль отвала W_{пер};
- передвижению машины W_{пс}.

Таким образом, общее сопротивление при работе плуга ПС составляет:

$$W_{\text{пл}} = W_p + W_{\text{пр}} + W_{\text{пер}} + W_{\text{пс}}. \quad (11.3)$$

Сопротивление резанию, Н,

$$W_p = k_p B_{\text{пл}} H_c, \quad (11.4)$$

где k_p – удельное сопротивление снега резанию, Па,

$$k_p = \begin{cases} 0,7 \dots 1,2 & \text{– для рыхлого,} \\ 2,0 \dots 5,0 & \text{– для слабоуплотненного,} \\ 4,0 \dots 9,0 & \text{– для плотного снега;} \end{cases}$$

H_c – толщина срезаемого слоя снега, м.

Сопротивление перемещению призмы волочения снега перед плугом, Н,

$$W_{\text{пр}} = f_{\text{сс}} G_{\text{пр}}, \quad (11.5)$$

где $f_{\text{сс}}$ – коэффициент внутреннего трения (снега по снегу),

$f_{\text{сс}} = 0,24 \dots 0,57$ в зависимости от плотности и температуры снега;

$G_{\text{пр}}$ – сила тяжести снега в призме волочения, Н.

Сопротивление перемещению снега вдоль отвала, Н,

$$W_{\text{пер}} = f_{\text{с}} f_{\text{с}} G_{\text{пр}} \cos \delta \cos \alpha, \quad (11.6)$$

где $f_{\text{с}}$ – коэффициент трения снега по стали;

δ – угол отклонения частиц снега от перпендикуляра к поверхности отвала в сторону сдвига, $\delta = 2 \dots 10^\circ$ в зависимости от плотности и температуры снега;

α – угол захвата между направлением скорости движения машины и поверхностью отвала, $\alpha = 43 \dots 38^\circ$.

Сопротивление передвижению снегоочистителя, Н,

$$W_{\text{пс}} = (f + i) G_{\text{пс}}, \quad (11.7)$$

где f – коэффициент сопротивления передвижению снегоочистителя;

i – уклон пути;

$G_{\text{пс}}$ – сила тяжести снегоочистителя, Н.

После очистки дорожного покрытия плугом на нем остается слой снега толщиной 10–20 мм, который сметает цилиндрическая щетка. При взаимодействии щетки со снегом учитывают наиболее значимые сопротивления:

– сопротивление от волочения щетки по снегу $W_{\text{вол}}$;

– сопротивление снега срезанию щеткой $W_{\text{ср}}$.

Сопротивление при волочении ворса щетки по снегу, Н,

$$W_{\text{вол}} = f_v P, \quad (11.8)$$

где f_v – коэффициент трения ворса по заснеженному полотну,

$$f_v = \begin{cases} 0,35 & \text{– для стального,} \\ 0,32 & \text{– для капронового ворса;} \end{cases}$$

P – вертикальная реакция покрытия на ворс щетки, Н,

$$P = 0,17 E J \frac{S^6}{y_k^8} i_{\text{ш}} \arccos \frac{y_k + R_6}{R_{\text{ш}}}, \quad (11.9)$$

E – модуль упругости материала ворса, МПа,

$$E = \begin{cases} 2,1 \cdot 10^5 & \text{– для стальной проволоки,} \\ 7,5 \cdot 10^3 & \text{– для синтетического ворса;} \end{cases}$$

J – момент инерции поперечного сечения прутка,

$$J = 0,25 \pi r_{\text{пр}}^4, \quad (11.10)$$

$r_{\text{пр}}$ – радиус поперечного сечения прутка, м;

S – свободная длина прутка ворса, м,

$$S = R_{\text{ш}} - R_6,$$

$R_{\text{ш}}$ – радиус вращения щетки, м;

R_6 – радиус барабана щетки, м;

$i_{\text{ш}}$ – общее число ворсинок;

y_k – расстояние между ободом барабана и поверхностью дороги, м,

$$y_k = S - h_v,$$

h_v – деформация ворса, м.

Сопротивление при срезании щеткой слоя снега, Н,

$$W_{\text{ср}} = k_{\text{ср}} B_{\text{ш}} h_{\text{ос}}, \quad (11.11)$$

где $k_{\text{ср}}$ – удельное сопротивление снега срезанию, $k_{\text{ср}} = 0,1 \dots 0,5$ Па;

$h_{\text{ос}}$ – высота слоя снега, оставшегося после плуга, $h_{\text{ос}} = 0,01 \dots 0,02$ м.

При оценке баланса мощности также следует учитывать набор рабочих органов.

Для *плужно-щеточного снегоочистителя* суммарная мощность, необходимая для работы плуга и щетки,

$$N_{\Sigma} = N_{\text{пл}} + N_{\text{пщ}} + N_{\text{дв}}, \quad (11.12)$$

где $N_{\text{пл}}$ – мощность, необходимая для работы плуга, кВт;

$N_{\text{пщ}}$ – мощность привода щетки, кВт;

$N_{\text{дв}}$ – мощность привода хода машины, кВт.

Мощность, обеспечивающая работу плуга, кВт,

$$N_{\text{пл}} = 10^{-3} \frac{W_{\text{пл}} v_p}{\eta_{\text{тр}}}, \quad (11.13)$$

где v_p – рабочая скорость машины, м/с;

$\eta_{\text{тр}}$ – КПД привода трансмиссии.

Мощность привода щетки, кВт,

$$N_{\text{пщ}} = 10^{-3} \frac{(W_{\text{вол}} + W_{\text{ср}}) v_p \sin \alpha_{\text{щ}}}{\eta_{\text{тр}}}, \quad (11.14)$$

где $\alpha_{\text{щ}}$ – угол установки щетки.

Мощность привода хода, кВт,

$$N_{\text{дв}} = 10^{-3} \frac{W_{\text{пс}} v_p}{\eta_{\text{тр}}}. \quad (11.15)$$

Для *быстроходного снегоочистителя* при скоростной очистке дорожного покрытия имеется методика точного расчета параметров взаимодействия рабочего органа (снежного плуга конической формы) и его геометрических характеристик с учетом значительных динамических нагрузок на рабочий орган. Однако в инженерных расчетах можно воспользоваться приведенным выше расчетом тихоходного снежного плуга, добавив два дополнительных сопротивления:

– силу инерции снега $W_{\text{ин}}$;

– силу сопротивления, связанную с отбрасыванием снега $W_{\text{отб}}$.

Сила инерции, Н,

$$W_{\text{ин}} = \rho_{\text{сн}} B_{\text{пл}} H_{\text{с}} v_p \sin^2 \frac{\varphi}{2}, \quad (11.16)$$

где $\rho_{\text{сн}}$ – плотность снега, кг/м³,

$$\rho_{\text{сн}} = \begin{cases} 120 \dots 180 & \text{– для рыхлого,} \\ 200 \dots 280 & \text{– для слабоуплотненного,} \\ 280 \dots 350 & \text{– для плотного снега;} \end{cases}$$

v_p – рабочая скорость машины, м/с;

φ – угол поворота отвала в вертикальной плоскости, град.

Сила сопротивления, возникающая при отбрасывании снега, Н,

$$W_{\text{отб}} = \rho_{\text{сн}} B_{\text{пл}} H_{\text{с}} v_p^2 (1 + \cos \alpha \cos \beta), \quad (11.17)$$

где β – угол между проекцией вектора скорости выброса снега к направлению движения машины, град.

Производительность плужных и плужно-щеточных снегоочистителей, м³/ч,

$$P_s = 10^3 \frac{K_{\text{в}} (B_{\text{пл}} - b_{\text{пер}}) H_{\text{с}} v_p}{n_{\text{пр}}}, \quad (11.18)$$

где $b_{\text{пер}}$ – величина перекрытия при проходах машины, м;

v_p – рабочая скорость машины, км/ч;

$n_{\text{пр}}$ – число проходов по одному месту.

11.3 Роторные снегоочистители

Роторные снегоочистители (РС) используют для выполнения снегоуборочных работ при нерегулярной очистке дорог и улиц, а также после обильных снегопадов, т. е. после образования на дорогах и улицах объемных и плотных снежных масс. Их также применяют для уборки снежных валов, остающихся после прохода плужных снегоочистителей сдвигающего действия.

РС обеспечивает вырезание снега из массива и его отбрасывание в сторону, поэтому его рабочее оборудование состоит из двух основных органов:

– *питателя*, отделяющего снег от массива (плуга, шнека или фрезы);

– *метателя (ротора или фрезы)* для отбрасывания снега в сторону от зоны очистки на обочину или в транспортное средство.

РС классифицируют по следующим основным признакам:

1) по *производительности* – легкие, средние и тяжелые;

2) по *типу шасси* – пневмоколесные (на базе автомобиля, тягача или специального шасси) и гусеничные (на базе трактора);

3) по *типу силовой установки рабочих органов* – от двигателя базового шасси и от автономного двигателя;

4) по типу привода рабочих органов – с механическим, гидравлическим и электрическим;

5) по принципу действия – с отдельным и совмещенным рабочим органом;

6) по конструкции питателя отдельного рабочего органа – с плужным, фрезерным и шнековым питателем.

Нередко РС оснащают дополнительным оборудованием: во-первых, направляющим аппаратом выброса снега для его погрузки в городских условиях в автотранспортные средства; во-вторых, забрасывающим устройством в виде дополнительного лопастного барабана, смонтированного на валу питателя.

Роторное оборудование позволяет убирать снег при различной ширине рабочего органа: для очистки тротуаров используют малогабаритные машины, имеющие ширину захвата до 1 м, для магистральных дорог – крупногабаритные с шириной захвата более 2,5 м.

Наиболее распространенной является схема с отдельным рабочим органом, который имеет отдельные механизмы для разработки снега и для его отбрасывания. На рисунке 11.7 представлены принципиальные схемы рабочих органов отдельного и совмещенного типов.

В приводах РС используют одно- и двухмоторные схемы, каждая из которых имеет свои особенности. Одномоторная схема обеспечивает привод ходовой системы снегоочистителя и его рабочих органов от одной силовой установки. В качестве силовой установки используют двигатель базового шасси (трактора, автомобиля или спецшасси) или автономный двигатель, который устанавливают на грузовой платформе автомобиля. Такой привод компактен и обладает относительно малой металлоемкостью, но обуславливает недогруз двигателя в транспортном режиме.

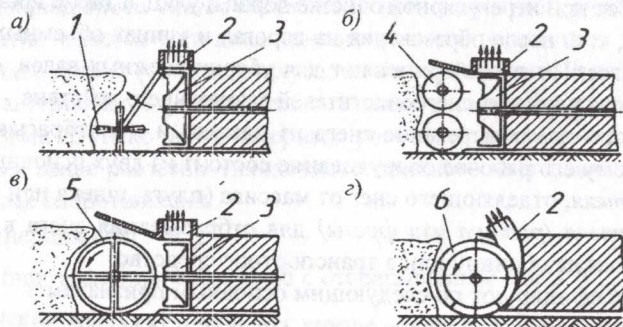


Рисунок 11.7 – Схемы рабочих органов роторных снегоочистителей:
а – в – раздельного (а – плужно-роторного; б – шнеко-роторного; в – фрезерно-роторного);
г – совмещенного типа; 1 – рыхлитель; 2 – направление выбрасываемого снега; 3 – ротор;
4 – шнек; 5 – ленточная фреза; 6 – барабанная фреза

Двухмоторная схема предусматривает отдельный привод рабочих органов и ходовой системы снегоочистителя от двух различных двигателей. Каждый двигатель работает автономно, что обеспечивает каждому из них оптимальный режим эксплуатации. Однако наличие двух отдельных трансмиссий существенно увеличивает количество узлов и деталей, а также металлоемкость конструкции машины.

Плужно-роторные снегоочистители (см. рисунок 11.7, а) используют для очистки улиц и тротуаров с формированием снежных валков. Их рабочим органом является плуг со встроенными в него одним или двумя соосно расположенными роторами, которые снабжены противоположно направленными лопастями винтовой формы. Для рыхления слежавшегося снега используют рабочие кромки зубчатой формы. Плужно-роторное оборудование устанавливают в навесном варианте на пневмоколесные трактора, включая мини-трактора с мощностью до 30 кВт. Кроме того, такой тип оборудования устанавливают на путевые машины и используют для очистки железнодорожного пути.

В **плужно-фрезерных снегоочистителях** плужное оборудование применяют в сочетании с фрезой, т. е. вместо метательного ротора на воронкообразный снежный плуг устанавливают фрезу, выполняющую функции метателя (рисунок 11.8).

Плужно-фрезерные рабочие органы используют для уборки свежеснежившего снега толщиной не более 350 мм. Рабочий орган устанавливают как спереди, так и сзади базового энергосредства. Например, завод «Евромаш» выпускает снегоочистители (модели СДДТ-Евромаш СНТ-2500) на базе трактора «БЕЛА-РУС-82УК» с заднеприводным навесным рабочим оборудованием.

Шнеко-роторные снегоочистители разрабатывают снег средней плотности ($200\text{--}300\text{ кг/м}^3$) при толщине до 1,0–1,5 м. Они имеют рабочий орган, который состоит из двух шнековых питателей и роторно-лопастного метателя.



Рисунок 11.8 – Плужно-фрезерный снегоочиститель

Расположение шнеков имеет два варианта исполнения. В первом варианте шнеки располагают по обе стороны от метателя и имеют вертикальные оси вращения. Они транспортируют снег вверх к середине метателя. Этот вариант реализован в снегоочистителе для аэродромного обслуживания модели АМКОДОР 9532. Во втором варианте (см. рисунок 11.7, б) оси вращения шнеков располагают горизонтально в вертикальной плоскости, они транспортируют снег к центру рабочего органа и затем забрасывают его в метатель. Для этих целей используют однозаходные шнеки с правой и левой навивкой. У шнека шаг винтовой линии равен его диаметру, что обеспечивает оптимальный угол подъема винтовой линии (18°).

На рисунке 11.9 представлена конструкция рабочего органа шнеко-роторного снегоочистителя с двумя шнеками-питателями 2, расположенными друг над другом. Верхний и нижний шнеки разделяют конусными рассекающими 4, которые располагаются симметрично по обе стороны ротора 3 и препятствуют пересыпанию снежной массы с верхнего на нижний шнек. Сварной корпус рабочего органа состоит из лобового листа и двух боковин, одна из которых является картером цепной передачи. В центре лобового листа располагают отверстие для поступления снега от шнеков к ротору. В нижней части листа устанавливают ножи 5 и 7, которые служат для подрезания снега с обрабатываемой поверхности полотна. В качестве опор используют лыжи 6. В зависимости от типоразмера рабочего органа снегоочистителя оснащают опорными катками или используют безопорную навеску.

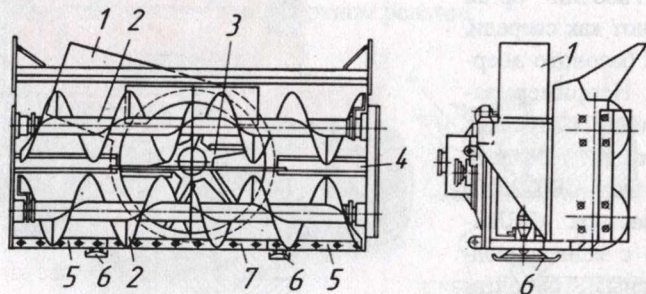


Рисунок 11.9 – Схема рабочего органа шнеко-роторного питателя:
1 – патрубок выброса снега; 2 – шнек; 3 – ротор; 4 – рассекающий; 5, 7 – ножи; 6 – лыжа

Шнек является винтовым питателем, производительность которого зависит от числа заходов. Помимо однозаходных полностенных шнеков, используют двухзаходные ленточные шнеки, которые существенно повышают эффективность процесса очистки дорожного полотна. Реже применяют трехзаходные шнеки из-за сложности их изготовления, хотя с их помощью

скоростную очистку магистральных дорог производят с большей эффективностью. Как правило, современные снегоочистители оснащают двухзаходными ленточными шнеками, которые относительно просты в изготовлении и имеют низкую материалоемкость.

Рабочие органы шнекороторного снегоочистителя имеют механический или гидравлический привод. В качестве примеров одно- и двухмоторного механического привода шнеко-роторных снегоочистителей представлены их кинематические схемы (рисунки 11.10 и 11.11).

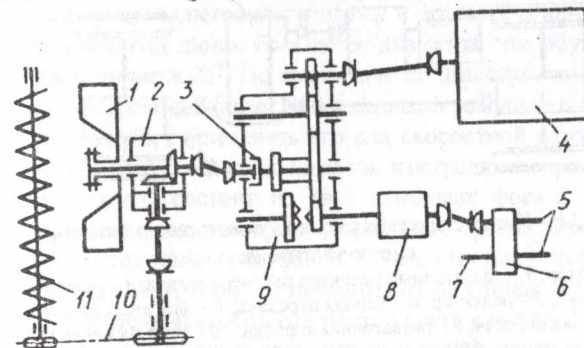


Рисунок 11.10 – Кинематическая схема одномоторного шнеко-роторного снегоочистителя:

1 – ротор; 2 – конический редуктор; 3 – муфта; 4 – двигатель; 5, 7 – валы привода ходовой системы; 6 – раздаточная коробка; 8 – коробка передач; 9 – раздаточная коробка с ходоуменьшителем; 10 – цепная передача; 11 – шнек

При одномоторной схеме имеется два варианта привода рабочих органов: во-первых, центральный привод шнеков от вала ротора через зубчатую передачу; во-вторых, привод шнеков и ротора от различных выходных валов коническо-цилиндрического редуктора.

Второй вариант представлен на рисунке 11.10. Один общий двигатель 4 обеспечивает привод рабочего органа (ротора 1 и шнеков 11) и ходовой системы базового шасси. Как видно из рисунка 11.10, крутящий момент на рабочие органы передают от раздаточной коробки 9 через карданную передачу и конический редуктор 2. От одного вала этого редуктора приводят ротор 1, от другого через цепную передачу 10 – шнеки 11.

При двухмоторной схеме (рисунке 11.11) привода рабочего органа и ходовой системы каждый двигатель работает независимо. Рабочий орган приводят от автономного двигателя 4 карданными валами через редуктор 5, промежуточную опору и цилиндрическо-конический раздаточный редуктор 3: от одного выходного вала – через цилиндрическую передачу – ротор 2, а от другого – через коническую – шнеки 1.

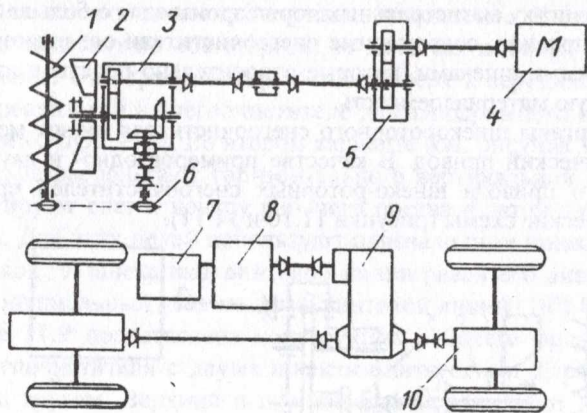


Рисунок 11.11 – Кинематическая схема двухмоторного шнеко-роторного снегоочистителя:

1 – шнек; 2 – ротор; 3 – раздаточный редуктор рабочего органа; 4 – двигатель привода рабочего органа; 5 – редуктор; 6 – цепная передача; 7 – цепная передача; 8 – коробка передач; 9 – раздаточная коробка; 10 – мост базового шасси

Гидравлический привод шнековых питателей лишен недостатков механического, его реализуют от гидросистемы базовой машины. Гидрооборудование рабочего органа включает шестеренный насос, гидрораспределитель, гидромотор и др. На рисунке 11.12 представлен вариант конструктивной схемы навесного шнекороторного снегоочистителя с приводом шнекового питателя от гидромотора, установленного на валу шнека.

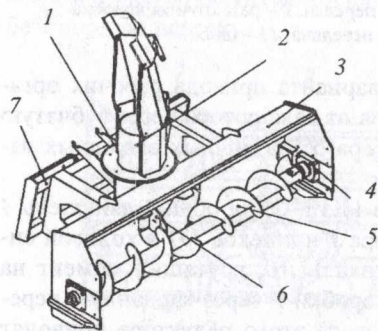


Рисунок 11.12 – Схема шнеко-роторного снегоочистителя:

1 – механизм перестановки патрубка; 2 – патрубок; 3 – кожух; 4 – гидромотор; 5 – шнек; 6 – ротор; 7 – монтажная плата-адаптер

Ротор снегоочистителя имеет горизонтальную ось вращения, его оснащают кожухом с патрубком для выброса снега, который устанавливают в заданном положении с помощью пары гидроцилиндров. На выходном конце патрубка устанавливают желоб для загрузки снега в автотранспортное средство или крепят специальный насадок для отбрасывания снега в сторону от зоны очистки. Роторы имеют различную

конструкцию, в том числе дисковую и бездисковую. Чаще применяют роторы в виде диска с криволинейными лопастями, которые надежны в эксплуатации и обладают невысокой материалоемкостью.

Фрезерно-роторные снегоочистители оснащают рабочим органом, который состоит из фрезерного питателя и лопастного ротора-метателя (см. рисунок 11.7, в). Они предназначены для уборки дорог и улиц от свежевыпавшего и слежавшегося снега толщиной до 1,0–2,0 м, а также для его погрузки в транспортные средства. Кроме того, их используют для удаления снежных валов, образованных плужными снегоочистителями и другими машинами. У ленточной фрезы шаг винтовой линии больше ее диаметра, что обуславливает угол подъема винтовой линии в 25° . По сравнению со шнекороторным рабочим органом фрезерно-роторный обладает более высокой режущей и пропускной способностью, что позволяет применять его для скоростной разработки крупных завалов плотного смерзшегося снега на автомагистралях и городских улицах.

Фрезерный питатель состоит из двух основных фрез 3 правой и левой наливки, которые смещают снег к центру рабочего органа. Фреза имеет винтовую ленточную конструкцию (рисунок 11.13) с тремя или четырьмя заходами и состоит из узких ножей, которые устанавливают на спицах. Такая конструкция обеспечивает относительно свободный проход снега к ротору без уплотнения.

Фрезерные питатели бывают двух типов: с одной центральной опорой и с тремя – центральной и двумя боковыми. В основном применяют одну центральную опору (см. рисунок 3.13), что не требует высокой точности установки фрез 3 и позволяет использовать торцовые фрезы 1 и 5.

В конструкциях фрезерно-роторных снегоочистителей в основном используют центральный привод фрез-питателей от вала ротора через зубчатую передачу.

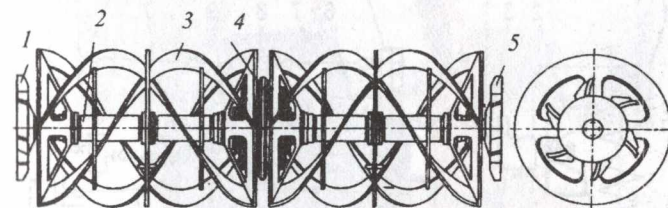


Рисунок 11.13 – Схема фрезерного питателя:

1, 5 – торцовые фрезы; 2 – вал; 3 – основная фреза; 4 – приводная звездочка

На рисунке 11.14 представлен один из вариантов кинематической схемы фрезерно-роторного снегоочистителя на базе трактора «БЕЛАРУС». Рабочие органы машины – фреза и ротор – имеют общий механический привод от заднего вала 6 отбора мощности (ВОМ) трактора. Фрезерный барабан 1 приводят от этого вала через коробку отбора мощности 7, карданные передачи, цилиндрическую передачу 4 ротора и конический редуктор 8. Ротор 3 также приводят от ВОМ через коробку 7, карданные

передачи и цилиндрическую передачу 4. Для предохранения от перегрузок каждая фреза снабжена предохранительной муфтой 2 со срезными элементами. Промежуточная опора 5 также снабжена предохранительной муфтой.

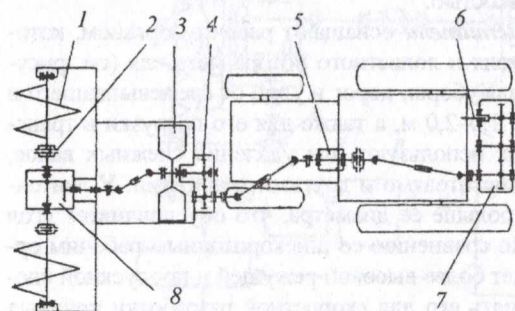


Рисунок 11.14 – Кинематическая схема механического привода рабочего органа фрезерно-роторного снегоочистителя:
1 – фреза; 2 – предохранительная муфта; 3 – ротор; 4 – цилиндрический редуктор; 5 – промежуточная опора; 6 – задний ВОМ трактора; 7 – коробка отбора мощности; 8 – конический редуктор

Крутящий момент от двигателя 4 базовой машины через редуктор отбора мощности 5, карданные передачи 7 и редуктор 11 передается на насос 10 и затем через гидромотор 3 и цилиндрическо-конический редуктор 14 на рабочие органы. Ротор 2 получает вращение от цилиндрической передачи редуктора 14, а фреза 1 – от конической передачи редуктора 14 и цепной передачи.

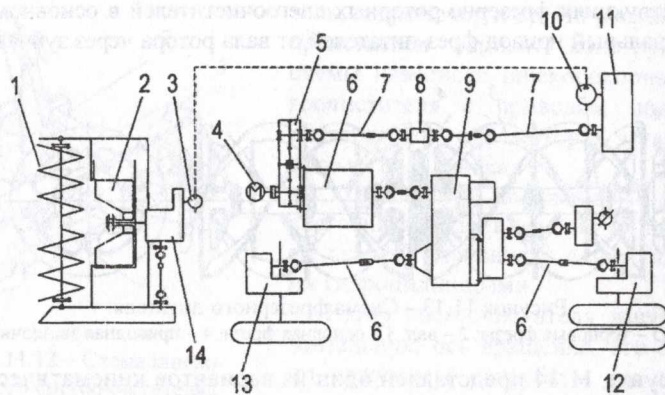


Рисунок 11.15 – Кинематическая схема гидромеханического привода рабочего органа фрезерно-роторного снегоочистителя:

1 – фреза; 2 – ротор; 3 – гидромотор; 4 – двигатель; 5 – редуктор отбора мощности; 6 – коробка передач; 7 – карданные передачи; 8 – трансмиссия привода рабочего органа; 9 – раздаточная коробка; 10 – гидронасос; 11 – редуктор привода насоса; 12, 13 – передний и задний мосты; 14 – раздаточный редуктор

Ротор-метатель устанавливают на задней стенке корпуса рабочих органов. При этом сам ротор находится внутри корпуса, а его приводная передача (одноступенчатая закрытая цилиндрическая) – снаружи (рисунок 11.16).

Один из вариантов фрезерно-роторного снегоочистителя (модели «АМКОДОР 9211» производства Михневского РМЗ) на базе трактора МТЗ с передней навеской рабочего органа выполнен по одномоторной схеме с гидравлическим приводом рабочего органа (рисунок 11.17).

Многие ведущие предприятия выпускают типоразмерные ряды снегоочистителей, обеспечивающие высокую эффективность работ в широком диапазоне их главного параметра. Так, японская фирма «Hitachi Kanki» выпускает 10 моделей машин, которые охватывают ширину захвата убираемой полосы от 1 до 2,6 м при производительности от 200 до 4000 т/ч, что обеспечивается мощностью силовых установок от 30 до 400 кВт.

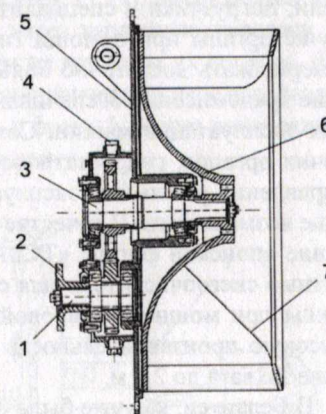


Рисунок 11.16 – Конструктивная схема ротора-метателя:

1, 3 – ведущий и ведомый валы приводной передачи; 2 – фланец; 4 – пробка-сапун; 5 – корпус метателя; 6 – ротор; 7 – лопасть ротора



Рисунок 11.17 – Фрезерно-роторный снегоочиститель модели «АМКОДОР 9211»

Ведущие мировые производители машин и оборудования для зимнего содержания дорог (английская «Johnston Sweepers», немецкая «Schmidt», американская «Swenson», швейцарские «Boschung» и «Bucher-Guyer AG», шведская «Brodd Sweden AB», финская «Arctic Machine», японские компании) используют различные шасси, в том числе тракторы, грузовые автомо-

били, погрузчики и специализированные шасси. Как правило, приводят рабочие органы при помощи гидросистемы основного шасси, что позволяет генерировать достаточно большие усилия при уборке снега. Гидростатические трансмиссии обеспечивают передачу приводных усилий на всех режимах эксплуатации машин. Сочетание эффективных фрезерно-роторных рабочих органов, гидростатической трансмиссии и системы автоматического управления режимами эксплуатации дает машинам широкие технологические возможности. В качестве примера можно привести машины и оборудование японской фирмы «ТСМ», которая производит средне- и крупногабаритные снегоочистители для скоростной очистки автомагистралей. Эти машины при мощности силовой установки от 180 до 440 кВт обеспечивают высокую производительность уборки снега – от 2300 до 3400 т/ч при ширине захвата до 2,5 м.

В Беларуси, как уже было отмечено, машины и оборудование для зимнего содержания дорог и улиц выпускают более десяти предприятий. На базе отечественных пневмоколесных тракторов МТЗ («Беларус») создан широкий ассортимент снегоочистителей и уборочной техники круглогодичного использования с набором адаптеров для зимнего и летнего содержания автомобильных дорог, а также для их реконструкции и ремонта. Лидером отечественных производителей в этой области является компания ОАО «Амкодор», которая выпускает более 10 моделей многофункциональных снегоуборочных машин различного типа с 50 видами быстросменного навесного оборудования. В их числе фрезерно-роторный снегоочиститель с задней навеской рабочего органа (рисунки 11.18 и 11.19). Подобная компоновка агрегатов машины существенно снижает материалоемкость трансмиссии и обеспечивает широкий обзор оператору.



Рисунок 11.18 – Фрезерно-роторный снегоочиститель «АМКОДОР 9513»

Рабочий орган машины (фреза и ротор), (рисунок 11.19), имеет общий механический привод от заднего ВОМ трактора через карданную передачу 4. В его корпусе 2 размещены фреза 5 и ротор, а также элементы их привода. Ротор приводят от ВОМ через карданный вал и цилиндрическую передачу раздаточного цилиндрическо-конического редуктора, а фрезу 5 – через коническую передачу редуктора, карданный вал и цепную передачу.

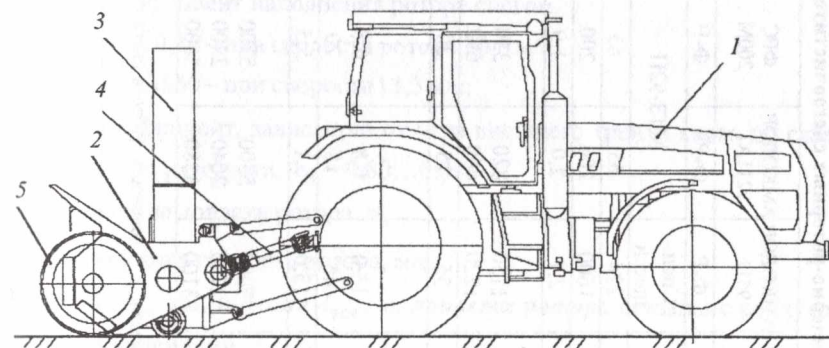


Рисунок 11.19 – Конструктивная схема снегоочистителя «АМКОДОР 9513»:
1 – базовый трактор; 2 – корпус рабочего органа; 3 – погрузочный желоб;
4 – карданный вал; 5 – фреза

В таблице 11.7 приведены технические характеристики некоторых шнеко- и фрезерно-роторных снегоочистителей отечественного производства. В основном представлены машины, оснащенные однодвигательной силовой установкой, на базе грузовых автомобилей и колесных тракторов. В модельном ряду фирмы «Амкодор» имеются также машины, оснащенные отдельными двигателями для привода передвижения машины и вращения роторных рабочих органов. В частности, базовая машина «АМКОДОР 9531» имеет еще три модели (-01, -02, -03), которые снабжают автономными двигателями для привода рабочих органов (модель «АМКОДОР 9531-03», представленная в таблице 11.7, является наименее энергоемкой из них). Соответственно, характеристики машин могут меняться в зависимости от выбора базового шасси, силовой установки, привода хода и рабочего оборудования, а также поставляемых комплектующих.

Расчет шнеко- и фрезерно-роторных снегоочистителей включает оценку конструктивных, кинематических, геометрических и эксплуатационных параметров рабочих органов, тяговые расчеты, баланс мощности, прочностные расчеты элементов конструкций и рабочих органов и др.

Таблица 11.7 – Технические характеристики шнекороторных и фрезерно-роторных снегоочистителей

Параметр	АМКОДОР 9531-03	АМКОДОР 9532	АМКОДОР ДЭМ-133*	АМКОДОР 9512	АМКОДОР 9511	АМКОДОР 9211А1	ФРС 200М	АМКО- ДОР 9513	ДЭМ-124
Рабочий орган	III-Р	III-Р	III-Р	Ф-Р	Ф-Р	Ф-Р	Ф-Р	Ф-Р	Ф-Р
Базовое шасси	Урал-4320-41	Урал-532362-70	ФП	МАЗ-543403	Спец. шасси	МТЗ-92П	МТЗ-2522ДВ	МТЗ-82	
N, кВт	220+220	368	225	184	224	65	195	60	
П, т/ч	1500	4500	2750	1200	1600	200	800	500	
B, м	2,8	2,8	2,9	2,9	2,7	2,0	2,6	2,1	
Диаметр мм: шнека/фрезы ротора	550 1220	500 1500	500 1010	950 1050	1150 1220	820 660	820 1050	700	
L, м	30	30	45	30	35	15	25	20	
Скорость, км/ч:									
рабочая	6,7	8,0	15,0	13,1	15,0	0,8	2,1	0,8	
транспортная	45	72		45	45	18	19	30	
Масса, т	15,2	21,5	5,0	15,5	13,0	6,1	13,0	4,7	
Габариты, мм: длина	10050	12500	2520	10050	7000	5500	8150	6000	
ширина	2810	2850	2980	2850	2700	2040	2550	2100	
высота	3000	3300	3800	3350	3100	3580	3160	3300	

* Габариты рабочего оборудования.

Примечание – N – мощность; П – производительность; B – ширина захвата; L – дальность отброса снега; Ш-Р – шнеко-роторный; Ф-Р – фрезерно-роторный; ФП – фронтальный погрузчик

Параметры ротора-метателя зависят от производительности снегоочистителя и его окружной скорости.

Радиус ротора-метателя, м,

$$R_{\text{пш}} = \frac{\Pi_{\text{со}}}{1,8k_n k_t \rho_{\text{сн}} b_{\text{рот}} v_{\text{рот}}}, \quad (11.19)$$

где $\Pi_{\text{со}}$ – техническая производительность снегоочистителя, т/ч;

k_n – коэффициент наполнения ротора снегом,

$$k_n = \begin{cases} 0,25 & \text{– при скорости ротора } 20,0 \text{ м/с,} \\ 0,50 & \text{– при скорости } 13,5 \text{ м/с;} \end{cases}$$

k_t – коэффициент, зависящий от угла внешнего трения снега по стали и угла разгрузки, $k_t = 0,80 \dots 0,85$;

$b_{\text{рот}}$ – ширина лопасти ротора, м;

$v_{\text{рот}}$ – окружная скорость ротора, м/с.

Ширина $b_{\text{рот}}$, м, и длина $l_{\text{рот}}$, м, лопасти ротора связаны с радиусом ротора соотношениями

$$b_{\text{рот}} = (0,65 \dots 0,75) R_{\text{рот}};$$

$$l_{\text{рот}} = (0,80 \dots 0,85) R_{\text{рот}}.$$

Для лопастных роторов число лопастей составляет шесть – восемь единиц.

Частота вращения ротора, мин^{-1} ,

$$n_{\text{рот}} = 30 v_{\text{рот}} / \pi R_{\text{рот}}. \quad (11.20)$$

Дальность отбрасывания снега ротором, м,

$$L_{\text{рот}} = 0,085 v_{\text{рот}}^2 \left(1 - \frac{0,0106 v_{\text{рот}}}{\sqrt[4]{k_n \rho_{\text{сн}}}} \right). \quad (11.21)$$

Производительность роторного метателя, $\text{м}^3/\text{с}$,

$$\Pi_{\text{рот}} = \frac{k_t b_{\text{рот}} v_{\text{рот}} R_{\text{рот}}}{2} = \frac{\pi k_t n_{\text{рот}} b_{\text{рот}} R_{\text{рот}}^2}{60}. \quad (11.22)$$

Для эффективной работы снегоочистителя должно выполняться следующее соотношение:

$$\Pi_{\text{рот}} \geq \Pi_{\text{пит}} \geq \Pi_{\text{со}}, \quad (11.23)$$

где $\Pi_{\text{пит}}$ — производительность питателя, т/ч;

$\Pi_{\text{со}}$ — производительность снегоочистителя, т/ч.

Техническая производительность снегоочистителя, т/ч,

$$\Pi_{\text{со}} = 3,6 \rho_{\text{сн}} B_{\text{пит}} H_{\text{сн}} v_{\text{со}}, \quad (11.24)$$

где $B_{\text{пит}}$ — ширина захвата питателя, м;

$H_{\text{сн}}$ — толщина снежного покрова, м;

$v_{\text{со}}$ — рабочая скорость снегоочистителя, м/с.

Ширина захвата питателя, м,

$$B_{\text{пит}} = B_{\text{со}} + (0,3 \dots 0,4), \quad (11.25)$$

где $B_{\text{со}}$ — ширина базового шасси, м.

Для выполнения соотношения (11.25) шнековый и фрезерный питатели должны соответствовать ряду следующих требований.

В **шнековом питателе** используют два или три шнека в зависимости от толщины разрабатываемого снежного покрова. Высота питателя должна быть меньше толщины слоя снега на 0,2–0,4 м с учетом возможности его частичного обрушения. Шнек должен быть однозаходным и иметь следующие характеристики:

– диаметр $D_{\text{шн}} = 0,40 \dots 0,55$ м;

– шаг $t_{\text{шн}} = D_{\text{шн}}$;

– ширина винтовой лопасти в радиальном направлении

$$b_{\text{лш}} = \frac{1}{2}(D_{\text{шн}} - D_{\text{вал}}),$$

где $D_{\text{вал}}$ — диаметр вала шнека, м;

– угол подъема винтовой линии шнека $\varepsilon = 14 \dots 18^\circ$;

– окружная скорость шнека 8–10 м/с.

Во **фрезерном питателе** фреза должна быть трех- или четырехзаходной и иметь следующие характеристики:

– окружная скорость фрезы 8–10 м/с;

– радиус $R_{\text{фр}} = 0,48 B_{\text{пит}}$;

– ширина винтовой лопасти фрезы, м,

$$b_{\text{лф}} = b_{\text{фр}} + 2\sqrt{R_{\text{фр}} b_{\text{фр}} \text{tg} \delta \sin \varepsilon},$$

где $b_{\text{фр}}$ — поступательная подача фрезы за один оборот, м,

$$b_{\text{фр}} = \frac{v_{\text{м}}}{n_{\text{фр}} z_{\text{зф}}} = \frac{2\pi v_{\text{м}}}{\omega_{\text{фр}} z_{\text{зф}}},$$

$n_{\text{фр}}$ — частота вращения фрезы, с⁻¹;

$\omega_{\text{фр}}$ — угловая скорость вращения фрезы;

$z_{\text{зф}}$ — число заходов фрезы;

δ — угол внешнего трения снега (по стали), $\delta = 5 \dots 10^\circ$;

ε — угол подъема винтовой линии фрезы, град.

В **балансе мощности** учитывают мощности, затрачиваемые на приводы ротора-метателя $N_{\text{рот}}$, питателя $N_{\text{п}}$, ходовой системы $N_{\text{пер}}$ и вспомогательных механизмов $N_{\text{всп}}$.

Мощность силовой установки снегоочистителя, кВт, должна обеспечивать работу всех механизмов и агрегатов машины:

$$N_{\text{со}} \geq N_{\text{рот}} + N_{\text{п}} + N_{\text{пер}} + N_{\text{всп}}. \quad (11.26)$$

Мощность привода ротора $N_{\text{рот}}$, кВт, состоит из мощностей, затрачиваемых на разгон снежной массы $N_{\text{раз}}$, на преодоление трения снега о кожух ротора $N_{\text{тр}}$ и на подъем снега $N_{\text{под}}$:

$$N_{\text{рот}} = \frac{K_{\text{зап}}}{\eta_{\text{рот}}} (N_{\text{раз}} + N_{\text{тр}} + N_{\text{под}}), \quad (11.27)$$

где $K_{\text{зап}}$ — коэффициент запаса мощности, $K_{\text{зап}} = 1,10 \dots 1,15$;

$\eta_{\text{рот}}$ — КПД привода лопастного ротора, $\eta_{\text{рот}} = 0,90 \dots 0,95$.

Мощность на разгон снега $N_{\text{раз}}$, кВт,

$$N_{\text{раз}} = 10^{-3} \frac{\Pi_{\text{тех}} v_{\text{рот}}^2}{3,6}, \quad (11.28)$$

Мощность на преодоление трения, кВт,

$$N_{\text{тр}} = 10^{-3} \frac{\Pi_{\text{тех}} v_{\text{рот}}^2}{4,5} \text{tg} \delta (2\pi - \psi_{\text{к}}), \quad (11.29)$$

где $\psi_{\text{к}}$ — угол разгрузки ротора, рад.

Мощность на подъем снега, кВт,

$$N_{\text{под}} = 10^{-3} \frac{\Pi_{\text{тех}} g}{3,6} (h_{\text{пат}} - 0,5 H_{\text{сн}}), \quad (11.30)$$

где $h_{\text{пат}}$ — высота патрубка направляющего устройства по отношению к уровню дорожного полотна, м.

Мощность привода питателя (шнекового или фрезерного), кВт,

$$N_{\text{пит}} = 10^{-3} \frac{\Pi_{\text{со}}}{3,6 \eta_{\text{пит}}} \left[\frac{k_{\text{рез}}}{\rho_{\text{сн}}} + \frac{B_{\text{пит}} f_{\text{сн}} \text{tg}(\varepsilon + \delta)}{2 \text{tg} \delta} + \frac{1}{2} k_{\text{рас}} v_{\text{пит}}^2 \sin^2 \varepsilon \right], \quad (11.31)$$

где $k_{\text{рез}}$ — удельное сопротивление снега резанию, Па (см. формулу (11.4));

$k_{\text{рас}}$ — коэффициент, учитывающий распределение снега по витку питателя, $k_{\text{рас}} = 0,8 \dots 1,0$;

$f_{\text{сн}}$ — коэффициент внутреннего трения снега, $f_{\text{сн}} = 0,24 \dots 0,57$.

Для экспресс-оценки мощности привода рабочих органов вместо формул (11.27)–(11.31) часто используют эмпирические зависимости, приведенные ниже в формулах (11.32) и (11.33).

Мощность привода ротора, кВт,

$$N_{\text{рот}} = 2,72 \cdot 10^{-3} k_{\text{с}} \omega_{\text{рот}} R_{\text{рот}} \Pi_{\text{со}}, \quad (11.32)$$

где $k_{\text{с}}$ — коэффициент, зависящий от скорости ротора,

$$k_{\text{с}} = \begin{cases} 0,95 & \text{— при окружной скорости 22 м/с,} \\ 1,30 & \text{— при скорости 12 м/с.} \end{cases}$$

Мощность привода питателя, кВт,

$$N_{\text{пит}} = \alpha_{\text{пс}} \Pi_{\text{тех}} + N_{\text{п}}, \quad (11.33)$$

где $\alpha_{\text{пс}}$ — коэффициент, зависящий от плотности снега,

$$\alpha_{\text{пс}} = \begin{cases} 0,0147 & \text{— снег плотностью 350 кг/м}^3, \\ 0,0257 & \text{— снег плотностью 450 кг/м}^3; \end{cases}$$

$N_{\text{п}}$ — потери мощности, зависящие от частоты вращения шнека, кВт,

$$N_{\text{п}} = \begin{cases} 3,3 & \text{— для частоты 500 об/мин,} \\ 5,1 & \text{— для частоты 300 об/мин.} \end{cases}$$

Мощность привода ходовой системы $N_{\text{пер}}$, кВт, определяют с помощью тягового расчета. При рабочем перемещении снегоочистителя наиболее значимыми сопротивлениями являются:

- сопротивление резанию снега $W_{\text{рез}}$;
- сопротивление передвижению снегоочистителя $W_{\text{со}}$;
- сопротивление скольжению рабочего органа по снегу $W_{\text{ск}}$.

Общая сила сопротивления перемещению снегоочистителя в рабочем режиме, Н,

$$W_{\Sigma} = W_{\text{рез}} + W_{\text{ск}} + W_{\text{со}}. \quad (11.34)$$

Сопротивление резанию снега рабочим органом, Н,

$$W_{\text{рез}} = k_{\text{рез}} F, \quad (11.35)$$

где F — площадь проекции ножей на вертикальную плоскость, перпендикулярную направлению движения машины, м².

Сопротивление скольжению рабочего органа, Н, по поверхности заснеженного дорожного полотна

$$W_{\text{ск}} = (\text{tg} \delta + i) G_{\text{ро}}, \quad (11.36)$$

где $G_{\text{ро}}$ — сила тяжести рабочих органов, Н.

Сопротивление передвижению снегоочистителя, Н

$$W_{\text{со}} = (f + i) G_{\text{со}}, \quad (11.37)$$

где f — коэффициент сопротивления передвижению снегоочистителя;

$G_{\text{со}}$ — сила тяжести снегоочистителя, Н.

Эксплуатационная производительность, т/ч,

$$\Pi_{\text{со}} = 3,6 k_{\text{в}} \rho_{\text{сн}} B_{\text{пит}} H_{\text{сн}} v_{\text{со}}. \quad (11.38)$$

11.4 Малогабаритные снегоуборочные машины

Для очистки от снега труднодоступных участков проезжей части и тротуаров, дворовых территорий и парковок используют малогабаритные (тротуарные) машины и оборудование. В их числе ручные снегометатели, малогабаритные самоходные снегоуборочные машины, а также снегоочистительное оборудование, устанавливаемое на минипогрузчиках и минитракторах. Наибольшее распространение имеют ручные снегометатели. Такой снегометатель состоит из одноосного мотоблока на гусеничном или пневмоколесном ходу с силовой установкой и рабочего оборудования. Малогабаритные снегоуборочные машины (МСМ) классифицируют по следующим основным признакам:

- по типу ходовой системы — гусеничные и пневмоколесные;
- по производительности — легкого, среднего и тяжелого класса;

- по типу силовой установки – с электрическим и карбюраторным двигателем;
- по типу рабочего органа – с раздельным (шнеко- или фрезерно-роторным оборудованием) и совмещенным (шнековым с отбрасывающими лопатками);
- по виду привода рабочего органа – с механическим (ременной, цепной и червячной передачей) и гидрообъемным;
- по типу привода шасси – ручные и самоходные;
- по степени универсальности – специализированные снегометы и многофункциональные уборочные машины.

МСМ ведущих производителей малогабаритной техники имеют практически однотипную конструктивную схему, которая включает силовую установку на одноосном колесном шасси, рабочее оборудование и систему управления силовой установкой,

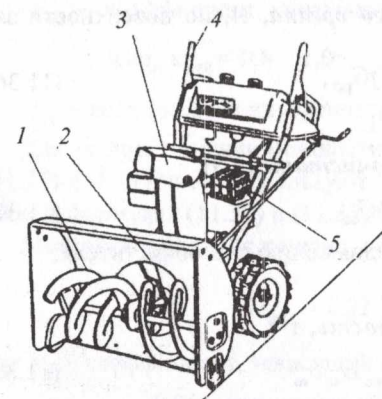


Рисунок 11.20 – Малогабаритный снегоочиститель с ручным управлением:

- 1 – фрезерно-роторный рабочий орган;
- 2 – направляющий патрубок потока снега;
- 3 – рукоять управления;
- 4 – пульт управления; 5 – электростартер

для мотоблоков, в которой шнек с отбрасывающими лопатками выполняет функции и питателя, и метателя.

Многие зарубежные компании, в том числе немецкая «Karcher», шведская «Stiga», японская «Honda», итальянская «Partner», американские «Toro», «MTD» и др., выпускают типоразмерные ряды малогабаритных (тротуарных) машин, которые содержат более десяти моделей и большое количество модификаций. Ширина очистки покрытия в таком ряду составляет от 0,3 до 0,9 м при дальности выброса снега от 0,5 до 18,0 м, а производительность изменяется в диапазоне 10–90 т/ч.

МСМ легкого класса используют для очистки труднодоступных мест от свежеснежавшегося снега, поскольку они имеют малую массу и габариты. Как правило, ими управляют вручную. В качестве силовых установок используют бензиновые (одноцилиндровые двухтактные) двигатели или электродвигатели с приводом от стационарной сети переменного тока. Рабочее оборудование состоит из металлических шнеков с рельефными накладками из износостойкой резины, которые позволяют очищать поверхность асфальта, мраморных или гранитных плиток без их повреждения. Привод шнеков осуществляют в основном через ременную или цепную передачи.

Наибольшее распространение имеют МСМ среднего класса, которые используют для уборки как свежеснежавшегося, так и слежавшегося снега. Это в основном самоходные машины со шнеко-роторным рабочим органом. Их питатель состоит из двух шнеков (диаметром 250–300 мм) ленточного типа с гладкой или рельефной (зубчатой и другой) поверхностью. Рельефная поверхность обеспечивает эффективную разработку слежавшегося и даже смерзшегося слоя снега. Привод рабочего органа и шасси осуществляют от двигателя через раздаточную коробку передач: на шасси – через карданную, на рабочий орган – через червячную передачу.

МСМ тяжелого класса используют при продолжительной и объемной работе по уборке слежавшегося и смерзшегося снега. Их рабочий орган оснащают шнеками диаметром 300–400 мм с зубчатой поверхностью, которые могут разрабатывать заледевшие слои снега толщиной до 0,5 м. Ротор рабочего оборудования имеет три-четыре лопасти, которые обеспечивают при частоте вращения ротора до 1200 об/мин переработку большого объема снега и дальность его отбрасывания на расстояния до 15–18 м. В приводах шасси и рабочих органов используют механические и гидромеханические (с гидрообъемным компонентом) трансмиссии.

Большинство машин среднего и тяжелого класса оснащают регулируемыми по высоте опорными направляющими (лыжами или башмаками), установленными на боковинах корпуса рабочего органа; они обеспечивают необходимое положение питателя по высоте.

Машины среднего и тяжелого класса оснащают четырехтактными двигателями внутреннего сгорания мощностью от 6 до 10 кВт. Все самоходные модели МСМ обеспечены реверсом и имеют четыре-шесть передних и одну-две задние передачи. Тип движителя зависит от класса машины. На МСМ, не имеющих механизма передвижения, устанавливают литые резиновые колеса малого диаметра и ширины. Самоходные машины выпускают в основном на пневмоколесном ходу и оснащают шинами с развитым протектором, обеспечивающим достаточно высокую

проходимость. Тяжелые модели нередко снабжают широкопрофильными шинами, устраняющими их пробуксовку.

Для повышения эффективности эксплуатации машин с гусеничными ходовыми системами их оснащают механизмом, обеспечивающим смещение центра тяжести машины вперед и назад в зависимости от режима (рабочего или транспортного) и нагрузки на рабочие органы.

Примером размерного ряда могут служить ручные снегоочистители (снегометатели) легкого, среднего и тяжелого класса шведской фирмы «Stiga» (таблица 11.8). Как видно из таблицы 11.8, их двигатели развивают мощность от 2 до 10 кВт, обеспечивая при ширине захвата от 0,5 до 0,8 м производительность в интервале от 10 до 90 т/ч.

В Беларуси также выпускают тротуарные малогабаритные снегоочистители для очистки от свежевыпавшего снега, в том числе навесное рабочее оборудование для мотоблоков РС-80 и СН-1М (см. рисунок 11.21).

Привод рабочих органов (шнекового питателя и роторного метателя) осуществляют от вала отбора мощности мотоблока. Крепление шнека к валу производят при помощи срезных болтов, обеспечивающих защиту привода от перегрузок при попадании в шнеки больших кусков льда. При скорости до 5 км/ч производительность снегоочистителя достигает 4500 м²/ч при ширине захвата 0,93 м.

Таблица 11.8 – Технические характеристики ручных снегоуборочных машин

Параметр	Snow Star	Snow Max	Snow Master	Snow Buster	Snow King	ST 928 PRO	ST 928T PRO	ST 1174 HST Royal	ST 1384 Royal
Диаметр шнека, мм	220	220	250	300	300	300	300	300	400
Ширина очистки, м	0,51	0,53	0,61	0,69	0,74	0,74	0,74	0,74	0,84
Дальность выброса, м	11,0	11,0	11,0	14,5	14,5	14,5	14,5	17,0	17,0
Производительность, т/ч	10	15	28	41	58	65	65	79	88
Мощность двигателя, кВт	2,2	3,3	3,7	5,9	7,4	6,7	6,7	8,2	9,6
Ходовое оборудование	ЛР	ЛР	ПК	ПК	ПК	ПК	Г	ПК	ПК
Масса, кг	21	27	63	91	95	98	100	112	120

Примечание – ПК – пневмоколесное; Г – гусеничное.

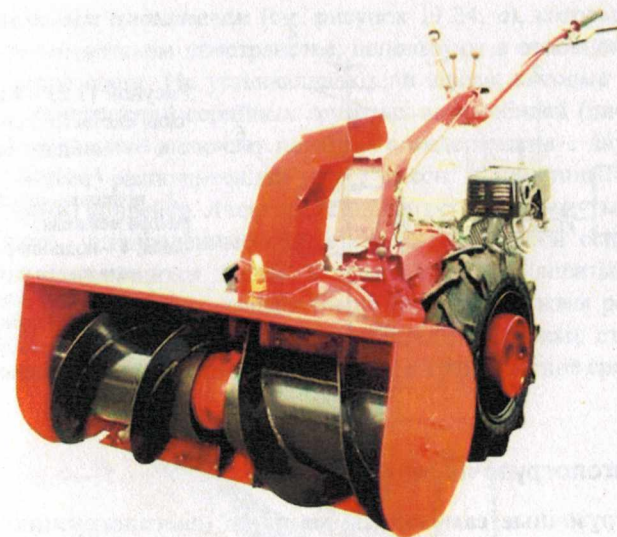


Рисунок 11.21 – Снегоочиститель-насадка СН-1М

Как и в полноразмерных машинах с раздельным рабочим органом, снегоуборочное оборудование (рисунок 11.22) включает шнеко-роторный питатель 1 и роторный метатель 10. Привод рабочего оборудования механический (рисунок 11.23) от силовой установки мотоблока.

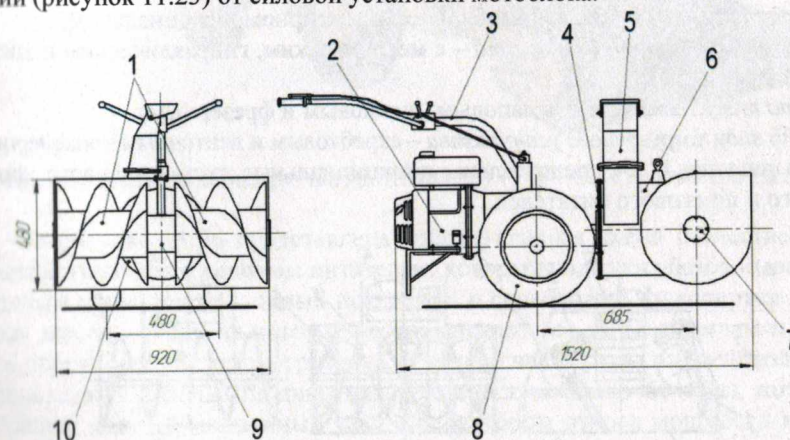


Рисунок 11.22 – Навесной снегоочиститель модели СН-1М:

1 – шнек питателя; 2 – мотоблок МТЗ-09Н; 3 – руль мотоблока; 4 – крышка корпуса; 5 – выбросной желоб; 6 – корпус; 7 – крышка подшипникового узла; 8 – ходовое колесо; 9 – конический редуктор; 10 – роторный метатель

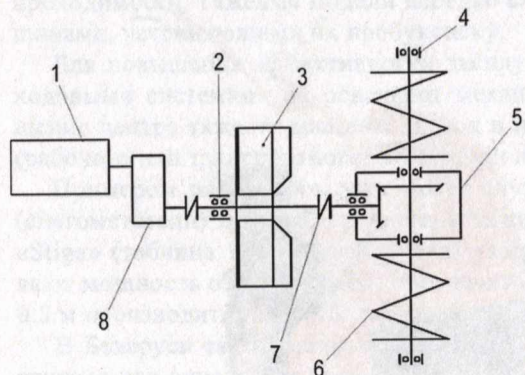


Рисунок 11.23 – Кинематическая схема навесного снегоочистителя:

1 – двигатель;
2 – подшипниковый узел вала ротора метателя; 3 – ротор метателя; 4 – подшипниковый узел вала шнека питателя; 5 – конический редуктор; 6 – шнек; 7 – фрикционная предохранительная муфта; 8 – цилиндрический редуктор

11.5 Снегопогрузочные машины

Снегопогрузочные самоходные машины (снегопогрузчики) предназначены для выполнения работ по уборке снега из придорожных валов или буртов и его погрузке в транспортные средства. В соответствии с этим рабочее оборудование снегопогрузчик (СП) состоит из питателя, отделяющего снег от массива, и транспортирующего конвейера для его погрузки в транспортное средство.

СП классифицируют по следующим основным признакам:

- по типу шасси – на автомобильном, тракторном и специальном;
- по приводу рабочего органа – с механическим, гидравлическим и электрическим;
- по типу питателя – с лаповым, шнековым и фрезерным;
- по виду погрузочного устройства – скребковым и ленточным конвейером.

На рисунке 11.24 представлены принципиальные схемы лапового, фрезерного и шнекового питателей.

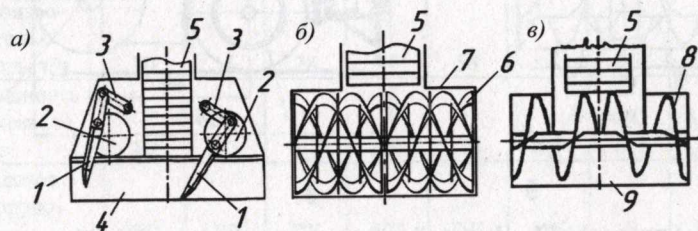


Рисунок 11.24 – Схемы питателей снегопогрузчиков:
а – лапового; б – фрезерного; в – шнекового типа;

СП с лаповым питателем (см. рисунок 11.24, а), которые выпускают только на постсоветском пространстве, используют в основном для уборки неслежавшегося снега. Их устанавливают на шасси, которые собирают из агрегатов и конструкций серийных грузовых автомобилей (рисунок 11.25). Рабочее оборудование включает питатель в виде лопаты с двумя захватывающими лапами, расположенной перед шасси, и наклонный скребковый (или ленточный) конвейер. Лапы представляют собой изогнутые металлические пластины, установленные симметрично продольной оси машины на кривошипах вращающихся дисков. В приемном лотке лопаты лапы двигаются навстречу друг другу со сдвигом по фазе, перекрывая рабочие зоны. В результате их движений снег перемещается от боковых стенок лопаты к ее середине, а затем по ленте транспортера в транспортное средство.



Рисунок 11.25 – Снегопогрузчик АМКОДОР 37 (ТМ-3-01) с лаповым питателем

На рисунке 11.26 представлена конструктивная схема отечественного снегопогрузчика с лаповым питателем, который содержит базовое шасси с полным приводом 1, лаповый питатель 6 и скребковый транспортер 3. Основа шасси – рама, на которой устанавливают все узлы, агрегаты и рабочее оборудование снегопогрузчика. В задней части рамы на амортизаторах располагают дизельный двигатель (мощностью около 60 кВт), который образует единый монтажный узел с редуктором отбора мощности и привода хода (РОМ). На РОМ устанавливают два гидронасоса привода и позиционирования рабочего оборудования и гидронасос привода хода. Карданные валы связывают выходные валы РОМ с передним и задним мостами шасси.

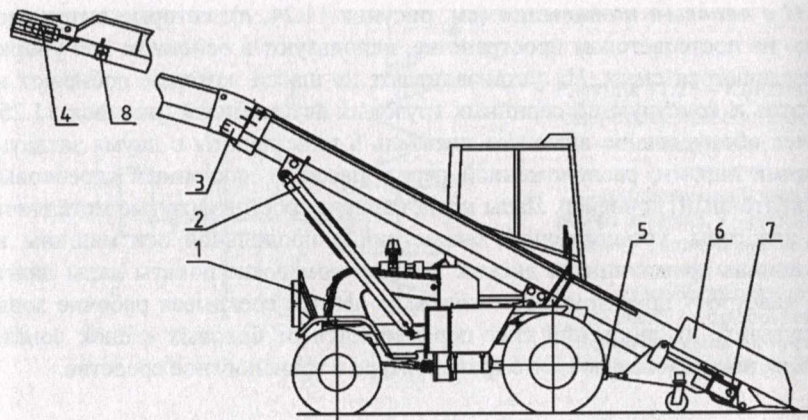


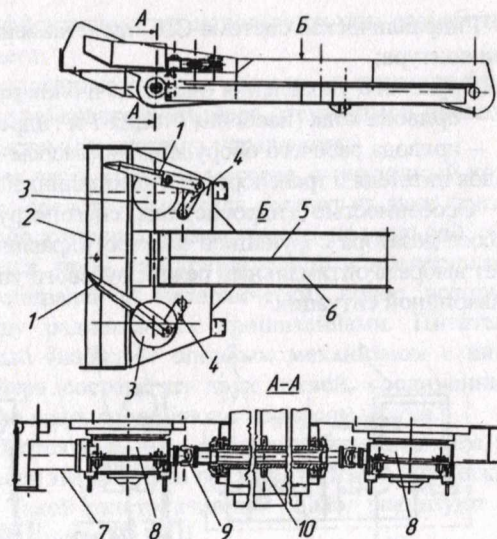
Рисунок 11.26 – Конструктивная схема снегопогрузчика АМКОДОР 37:
1 – базовое шасси; 2 – опора транспортера (гидроцилиндр); 3 – транспортер; 4 – гидромотор привода транспортера; 5 – гидросистема; 6 – лаповый питатель; 7 – гидромотор привода питателя; 8 – система видеонаблюдения

Передвижение снегопогрузчика обеспечивает крутящий момент, передаваемый от гидромотора через карданную передачу на ведущие мосты. Крутящий момент от дифференциалов мостов передается на движитель с помощью планетарных редукторов, установленных в ступицах колес переднего моста, и конических редукторов заднего моста. Поворот машины производят с помощью гидросистемы рулевого управления, обеспечивающей поворот колес заднего управляемого моста. Подъем и опускание транспортера осуществляют гидроцилиндры 2 (см. рисунок 11.26).

Снегоуборочные машины с лаповыми питателями различных производителей имеют одинаковые структурную и кинематическую схемы. Как было отмечено, в современных конструкциях используют лаповые питатели, у которых балансиры шарнирно соединены с качающимся рычагом, закрепленным на лопате. Такой тип питателя представлен на рисунке 11.27. Питатель включает раму лопаты 6 с ножом 2 и диски 3 с лапами 1 и тягами 4, а также привод дисков, содержащий гидромотор 7 и редукторы 8, соединенные карданным валом 9. На валу устанавливают звездочку 10 скребкового конвейера. Каждую лапу 1 крепят на подшипниках к пальцу поворотного диска 3 редуктора 8 питателя. Конец лапы шарнирно соединяют (пальцем) с тягой 4, которую, в свою очередь, шарнирно соединяют (пальцем) с рамой 6 питателя. Такой рычажный механизм обеспечивает колебательное движение лап, которые поочередно захватывают снег, направляя его в зону транспортера.

Рисунок 11.27 – Конструктивная схема питателя снегопогрузчика:

1 – лапы; 2 – нож; 3 – диски;
4 – тяги лап; 5 – направляющая;
6 – рама; 7 – гидромотор;
8 – конические редукторы;
9 – карданный вал;
10 – звездочка конвейера



Рабочее оборудование, состоящее из лапового питателя и скребкового транспортера, имеет гидравлический привод с регулируемой скоростью вращения. На рисунке 11.28 приведен вариант кинематической схемы лапового СП. Поворотные диски 1 через конические редукторы 2 получают вращение от гидромотора 3, который через гидронасос 11 связан с двигателем 8 СП. Трансмиссия машины включает гидронасос 10 и гидромотор 5, редуктор 4 и карданные валы, а также передний 13 и задний 12 мосты с колесами 14 и тормозами.

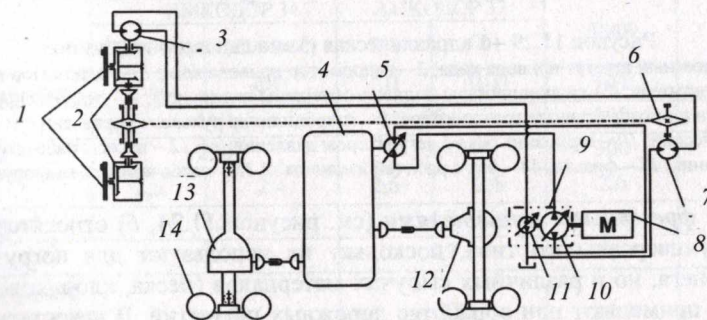


Рисунок 11.28 – Кинематическая схема снегопогрузчика с лаповым питателем:
1 – диски; 2 – редукторы питателя; 3 – гидромотор питателя; 4 – редуктор привода ходовых колес; 5 – гидромотор привода ходовых колес; 6 – ведущая звездочка транспортера; 7 – гидромотор транспортера; 8 – двигатель; 9 – блок гидронасосов; 10 – гидронасос привода хода; 11 – гидронасос привода питателя; 12 – задний мост; 13 – передний мост; 14 – колесо

Гидравлическая система СП, представленная на рисунке 11.29, содержит три контура:

- рулевого управления (насос 15 и блок рулевого механизма 9);
- привода хода (насосная станция 1 и гидромотор 2);
- привода рабочего оборудования (насосы 11 и 12, гидромоторы 3 и 6 приводов питателя и транспортера, гидроцилиндры 4 позиционирования питателя).

Особенностью гидросистемы снегопогрузчика является использование насоса-дозатора с функцией электрогидравлического управления, что позволяет выбрать оптимальный режим рулевого управления машиной, в том числе в аварийной ситуации.

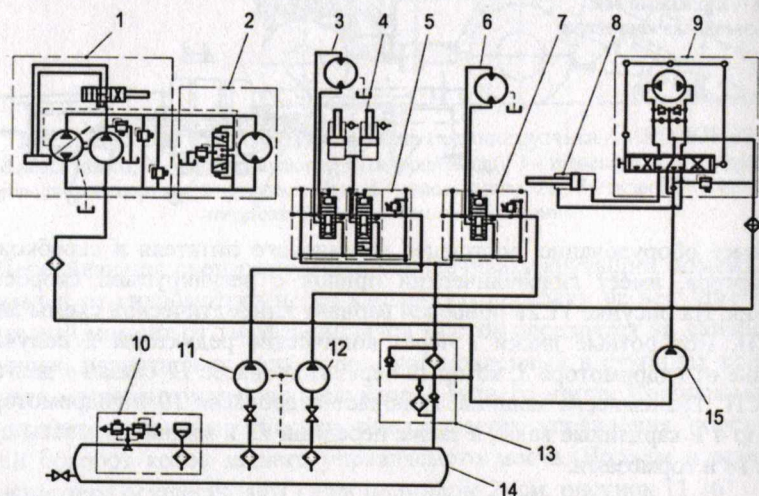


Рисунок 11.29 – Гидравлическая схема лапового погрузчика:

1 – насосный агрегат привода хода; 2 – гидромотор привода хода; 3 – гидромотор привода лапового питателя; 4 – гидроцилиндры подъема-опускания питателя; 5, 7 – гидрораспределители; 6 – гидромотор привода транспортера; 8 – гидроцилиндр рулевого управления; 9 – руль гидравлический; 10 – горловина бака с регулятором давления; 11, 12 – насосы рабочего оборудования; 13 – фильтр; 14 – бак с рабочей жидкостью; 15 – насос привода гидроруля

СП с фрезерными питателями (см. рисунок 11.24, б) относятся к машинам универсального типа, поскольку их используют для загрузки не только снега, но и различных сыпучих материалов (песка, хлоридов и др.), которые применяют при обработке дорожных покрытий. В качестве снегопогрузчика их с наибольшей эффективностью используют при разработке слежавшегося и смерзшегося снега.

Они содержат рабочее оборудование, которое состоит из питателя фрезерного типа, ленточного или скребкового конвейера, механизмов привода рабочего оборудования, гидросистемы и системы управления.

погрузчика их с наибольшей эффективностью используют при разработке слежавшегося и смерзшегося снега.

Они содержат рабочее оборудование, которое состоит из питателя фрезерного типа, ленточного или скребкового конвейера, механизмов привода рабочего оборудования, гидросистемы и системы управления.

Фрезерный питатель отделяет часть снега от массива, а наклонный конвейер подает его в транспортное средство. Питатель состоит из двух фрез с левой и правой навивкой, расположенных симметрично продольной оси машины. Каждая из них является двух- или трехзаходной и представляет собой набор цилиндрических спиралей из металлических полос, которые закрепляют на трубчатом валу радиальными кронштейнами. Питатель располагают в корпусе, который снабжают опорным механизмом в виде лыж или катков. Рама конвейера состоит из двух частей, соединенных шарнирно, при этом его нижнюю часть соединяют с корпусом фрезы.

Как правило, питатели являются сменным рабочим оборудованием на базовом шасси, которое позволяет значительно расширить технологические возможности снегопогрузчика. Такой конструктивный подход реализуют на отечественном объединении «Амкордор».

В таблице 11.9 приведены технические и эксплуатационные характеристики ряда снегопогрузчиков, которые оснащают разгрузочным конвейером (скребковым или ленточным) и различными питателями. В частности, погрузчики моделей ТМ-3-01 и ТМ-3-03 имеют лаповые питатели, а модели ТМ-3-02 и ТМ-3-04 – фрезерные, при этом у моделей ТМ-3-03 и ТМ-3-04, кроме базового, имеется и сменный рабочий орган – фрезерный и лаповый питатели соответственно.

Таблица 11.9 – Характеристики снегопогрузчиков

Параметр	АМКОДОР 34		АМКОДОР 37		ДМ09	СнП-17
	(ТМ-3-01)	(ТМ-3-02)	БМ	-01		
Рабочий орган	ЛП	ФП	ЛП	ШП	ЛП	ЛП
N, кВт	44,1		59,6		100	100
Π, м³/ч	230		300		300	350
B, м	2,5	2,4	2,6	2,8	2,6	2,6
H, м	3,5		4,1		4,4	4,4
L, м	–	–	4,7		5,2	5,6
Скорость, м/ч:	< 3,5 < 16,0		< 5,0 < 18,0		14,0	8,0
рабочая транспортная					30,0	30,0
Масса, т	7,5		7,6		7,2	7,6
Габариты, мм:						

длина	9925	10850	10850	11800	12300
ширина	2590	2820	3000	2740	2690
высота	3685	3650	3650	3650	3500

Примечание – ЛП – лаповый питатель, ФП – фрезерный питатель, ШП – шнековый питатель, БМ – базовая модель; N – мощность двигателя; P – производительность; B – ширина захвата; H – высота разгрузки; L – вылет транспортера.

Опыт эксплуатации показывает, что для погрузки снега в автосамосвалы (примерно 80 % всех работ по удалению снега с обочин) целесообразно использовать именно снегопогрузчики, поскольку снегопогрузчик с самосвалом занимают только одну полосу движения, а снегоочиститель шнеко- или фрезерно-роторного типа (вместе с самосвалом) – две полосы, при этом производительность снегоочистителя при погрузке в автосамосвал используют только на 30–35 %. Производительность современных лаповых снегопогрузчиков составляет в среднем до 300 м³/ч, поэтому самосвал загружают в течение двух минут.

Расчет лапового погрузчика включает баланс мощности, оценку усилий, возникающих в рабочем режиме машины, а также расчет на прочность основных узлов.

Тяговый расчет содержит оценку наиболее значимых сопротивлений. В их числе сопротивления, возникающие при взаимодействии со снегом рабочих органов (лапового питателя и транспортера), а также ходовой системы снегопогрузчика.

При работе лапового питателя учитывают силы сопротивления при срезании снега W_{cp} и при его перемещении по лопате $W_{псн}$.

Сопротивление срезанию снега лапами питателя, Н,

$$W_{cp} = k_{cp} l_{п} h_{cp}, \quad (11.39)$$

где k_{cp} – коэффициент удельного сопротивления снега срезанию, Па;

$l_{п}$ – размер полосы снега, срезаемого одной лапой за проход, в направлении подачи, м;

h_{cp} – высота срезаемого лапой слоя снега, м.

Размер полосы $l_{п}$ рассчитывают через рабочую скорость машины $v_{сп}$, м/с, и число проходов лапы $n_{л}$ в единицу времени, с⁻¹:

$$l_{п} = \frac{v_{сп}}{n_{л}}. \quad (11.40)$$

Сопротивление перемещению срезанного лапой объема снега по поверхности лопаты, Н,

Массу, кг, рассчитывают с учетом объема срезаемого снега

$$m_{сн} = \rho_{сн} l_{п} B_{зах} h_{cp}, \quad (11.42)$$

где $B_{зах}$ – ширина захвата снегопогрузчика, м.

В рабочем режиме транспортера учитывают силы сопротивления, обусловленные перемещением и подъемом снега транспортером, а также силу сопротивления, возникающую при движении самого транспортера.

Сопротивление при перемещении снега транспортером, Н,

$$W_{стр} = f_{стр} m_{стр} g \cos \beta_{тр}, \quad (11.43)$$

где $f_{стр}$ – коэффициент трения снега по транспортеру;

$m_{стр}$ – масса снега, находящегося на транспортере, кг;

$\beta_{тр}$ – угол наклона транспортера, град.

Массу снега, кг, определяют исходя из производительности снегопогрузчика $P_{сп}$, кг/с:

$$m_{п} = \frac{P_{сп} L_{тр}}{v_{тр}}, \quad (11.44)$$

где $L_{тр}$ – длина транспортера, м;

$v_{тр}$ – скорость транспортера, м/с.

Сопротивление при подъеме снега транспортером, Н,

$$W_{псг} = m_{стр} g \sin \beta_{тр}. \quad (11.45)$$

Сопротивление при движении транспортера, Н,

$$W_{тр} = f_{тр} m_{тр} g \cos \beta_{тр}, \quad (11.46)$$

где $f_{тр}$ – коэффициент сопротивления передвижению транспортера;

$m_{тр}$ – масса транспортера, кг.

Кроме того, следует учитывать силы сопротивления, возникающие при взаимодействии лопаты со снегом, и сопротивление перемещению самого снегопогрузчика.

Сопротивление, вызванное врезанием ножа лопаты в снег, Н,

$$W_{вр} = k_{ср} B_{зах} h_{сл}, \quad (11.47)$$

где $h_{сл}$ – средняя толщина слоя снега, срезаемого лопатой, м.

Сопротивление при перемещении лопаты, Н,

$$W_{пл} = (f_{смп} + i) m_{л} g, \quad (11.48)$$

где $f_{\text{смп}}$ — коэффициент трения стали по материалу дорожного покрытия;

$m_{\text{л}}$ — масса лопаты, кг.

Сопротивление перемещению снегопогрузчика, Н,

$$W_{\text{сп}} = (f_{\text{кач}} + i)(m_{\text{сп}} - m_{\text{л}})g, \quad (11.49)$$

где $f_{\text{кач}}$ — коэффициент сопротивления качению;

$m_{\text{сп}}$ — масса снегопогрузчика, кг.

Мощность, требуемая для работы лапового снегопогрузчика, включа-
ет мощность на привод рабочих органов через коробку отбора мощности $N_{\text{ро}}$ и мощность на привод механизма передвижения $N_{\text{пер}}$ снегопогрузчика:

$$N_{\Sigma} = N_{\text{ро}} + N_{\text{пер}}. \quad (11.50)$$

Мощность привода рабочих органов, кВт,

$$N_{\text{сп}} = 10^{-3} \frac{2k_{\text{д}} \left(\frac{W_{\text{сп}} B_{\text{зах}}}{2} + W_{\text{псн}} l_{\text{лт}} \right) n}{\eta_{\text{лит}}} + 10^{-3} \frac{k_{\text{пц}} (W_{\text{стр}} + W_{\text{пст}} + W_{\text{тр}}) v_{\text{тр}}}{\eta_{\text{тр}}}, \quad (11.51)$$

где $k_{\text{д}}$ — коэффициент, учитывающий действие динамических нагрузок, $k_{\text{д}} = 1,6 \dots 1,7$;

$l_{\text{лт}}$ — длина пути перемещения снега лапой к конвейеру, м;

n — число лап, $n = 2$;

$k_{\text{пц}}$ — коэффициент, характеризующий сопротивление в подшипниках
звездочек цепи транспортера, $k_{\text{пц}} = 1,25$;

$\eta_{\text{лит}}$ — КПД трансмиссии от двигателя к питателю;

$\eta_{\text{тр}}$ — КПД трансмиссии от двигателя к транспортеру.

Мощность привода ведущих колес снегопогрузчика, кВт,

$$N_{\text{пер}} = 10^{-3} \frac{(W_{\text{вр}} + W_{\text{пл}} + W_{\text{сп}}) v_{\text{сп}}}{\eta_{\text{сп}}}, \quad (11.52)$$

где $\eta_{\text{сп}}$ — КПД трансмиссии от двигателя к ведущим колесам.

Расчет фрезерного погрузчика также включает баланс мощности, опре-
деление усилий, возникающих при работе машины, а также расчеты на
прочность основных узлов.

При работе снегопогрузчика возникают следующие наиболее значимые
силы сопротивления:

— срезанию снега лопастями фрезы $W_{\text{пр}}$;

— при подъеме снега $W_{\text{пс}}$;

— при движении ленты транспортера $W_{\text{пт}}$;

— при перемещении питателя $W_{\text{фп}}$;

— при перемещении снегопогрузчика $W_{\text{сп}}$.

Сопротивление срезанию снега фрезой, Н,

$$W_{\text{фр}} = k_{\text{сп}} b_1 c_1 \sin \theta, \quad (11.53)$$

где b_1 — ширина полосы, вырезаемая лопастью фрезы-питателя, м,

$$b_1 = \frac{B_{\text{зах}}}{2}, \quad (11.54)$$

c_1 — подача питателя за один оборот, м,

$$c_1 = \frac{v_{\text{сп}}}{zn_{\text{фр}}},$$

z — число заходов фрезы;

$n_{\text{фр}}$ — частота вращения фрезы, с^{-1} ;

θ — угол, определяющий положение лопасти, град.

Для оценки мощности на фрезерование снега необходимо оценить затра-
ты энергии на его срезание и отбрасывание при движении фрезы.

Затраты энергии на срезание снега, Дж,

$$A_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{сп}} b_1 R_{\text{фр}} v_{\text{сп}} (1 - \cos \theta_0)}{n_{\text{фр}} z}, \quad (11.55)$$

где $R_{\text{фр}}$ — радиус фрезы, м;

θ_0 — угол, определяющий высоту разрабатываемого слоя снега, град.

Затраты энергии на отбрасывание снега, Дж,

$$A_{\text{от}} = \frac{1}{2} k_{\text{рс}} m_1 R_{\text{фр}} \omega^2 \sin^2 \alpha, \quad (11.56)$$

где $k_{\text{рс}}$ — коэффициент распределения снега по витку фрезы, $k_{\text{рс}} = 0,8 \dots 1,0$;

m_1 — масса снега, подаваемая лопастью за один оборот вращения фре-
зы, кг;

ω — угловая скорость вращения фрезы, с^{-1} ;

α — угол наклона винтовой линии фрезы, град,

$$\alpha = \arctg \frac{S_{\text{фр}}}{2\pi R},$$

$S_{\text{фр}}$ — шаг фрезы, м.

Затраты энергии при перемещении снега фрезой к транспортеру в единицу времени, Дж,

$$A_{\text{нф}} = \frac{f_{\text{ср}} \Pi_{\text{спс}} g B_{\text{зах}}}{2}, \quad (11.57)$$

где $\Pi_{\text{спс}}$ — производительность машины в секунду, кг/с.

Мощность, необходимая для перемещения снега фрезой, Вт,

$$N_{\text{нф}} = A_{\text{нф}} \frac{\text{tg}(\alpha + \delta)}{\text{tg} \alpha}, \quad (11.58)$$

где δ — угол внешнего трения снега (по стали), град.

Как было отмечено, при работе транспортера возникают силы сопротивления при подъеме снега и при движении ленты конвейера.

Сопротивление при подъеме снега, Н,

$$W_{\text{пс}} = m_{\text{стр}} g \sin \beta_{\text{тр}}, \quad (11.59)$$

где $m_{\text{стр}}$ — масса снега на транспортере, кг,

$$m_{\text{стр}} = \frac{\Pi_{\text{спс}} L_{\text{тр}}}{v_{\text{тр}}}.$$

Сопротивление при движении ленты транспортера, Н,

$$W_{\text{лт}} = k_{\text{рол}} (m_{\text{л}} + m_{\text{стр}} + m_{\text{рол}}) g \cos \beta_{\text{тр}}, \quad (11.60)$$

где $k_{\text{рол}}$ — коэффициент сопротивления в опорах транспортера, $k_{\text{рол}} = 0,02 \dots 0,04$;

$m_{\text{л}}$ — масса ленты транспортера, кг;

$m_{\text{рол}}$ — масса поддерживающих роликов, кг.

Мощность, необходимая для привода рабочих органов (питателя и конвейера), кВт,

$$N_{\text{ро}} = 10^{-3} \frac{2(A_{\text{ср}} + A_{\text{от}}) n_{\text{фр}} z_{\text{фр}}}{\eta_{\text{пит}}} + 10^{-3} \frac{(W_{\text{пс}} + W_{\text{лт}}) v_{\text{тр}}}{\eta_{\text{тр}}} + N_{\text{нф}}. \quad (11.61)$$

Сопротивление перемещению фрезерного питателя, Н,

$$W_{\text{пл}} = (f_{\text{смп}} + i) m_{\text{фп}} g, \quad (11.62)$$

где $m_{\text{фп}}$ — масса фрезерного питателя, приходящаяся на дорожное полотно, кг.

Сопротивление перемещению снегопогрузчика, Н,

$$W_{\text{сп}} = (f_{\text{кач}} + i) (m_{\text{сп}} - m_{\text{фп}}) g. \quad (11.63)$$

Техническую производительность СП при непрерывной погрузке снега, м³/ч, рассчитывают по формуле

$$\Pi_{\text{сп}} = 3600 B_{\text{зах}} h_{\text{ср}} v_{\text{сп}}. \quad (11.64)$$

При оценке эксплуатационной производительности учитывают обеспеченность рабочего процесса машинами для погрузки снега, а также перерывы в работе, связанные с маневрированием машин.

Эксплуатационная производительность, м³/ч,

$$\Pi_{\text{сп}} = 3600 k_{\text{в}} B_{\text{зах}} h_{\text{ср}} v_{\text{сп}} (3600 - n_{\text{м}} t_{\text{ман}}), \quad (11.65)$$

где $k_{\text{в}}$ — коэффициент использования снегопогрузчика по времени;

$n_{\text{м}}$ — число машин, загружаемых за 1 час;

$t_{\text{ман}}$ — продолжительность маневрирования машин при погрузке снега, с.

11.6 Скалыватели льда и уплотненного снега

Скалыватели служат для рыхления и механического удаления льда и смерзшегося снега большой толщины и различной формы (колея, надолбы и др.) с поверхности дорожных покрытий. В этих условиях применение как плужных, так и роторных снегоочистителей становится малоэффективным.

Скалыватели целесообразно классифицировать по следующим основным признакам:

- 1) по типу базового шасси — на тракторах, автогрейдерах, бульдозерах, погрузчиках и автотранспортных средствах;
- 2) по агрегатированию с базовым шасси — с передней и задней навеской, между осями шасси;
- 3) по типу рабочего органа — пассивного и активного;
- 4) по конструкции рабочего органа — ножевого, дискового и барабанного вида;
- 5) по воздействию на лед — гравитационное и виброударное;
- 6) по типу привода рабочего оборудования — с гидравлическим, механическим и не приводным.

Для скалывания льда и уплотненного снега в исключительных случаях используют землеройно-транспортные машины (автогрейдеры, бульдозеры и др.), оснащенные соответствующим оборудованием (зубьями рыхлителя или кирковщика). В большей степени для решения этих задач подходят дорожные фрезы.

Специализированное оборудование для скалывания льда должно быть оснащено не только рабочими органами для срезания льда и снега, но и копирным устройством, защищающим дорожное покрытие от повреждений, в виде опорных колес и лыж, установочных дисков и ограничительных элементов.

На рисунке 11.30 представлены основные схемы рабочих органов скалывателей льда пассивного и активного типа.

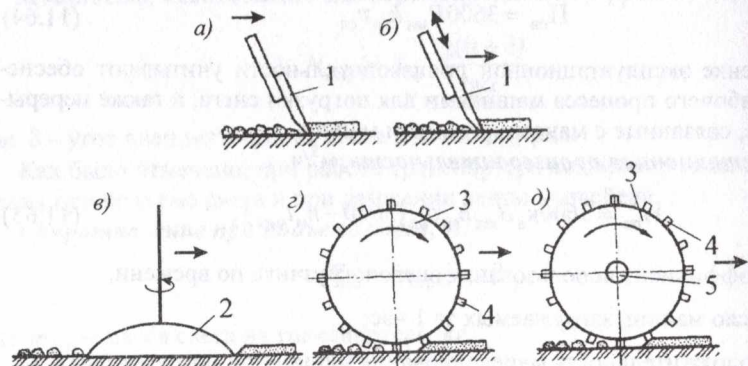


Рисунок 11.30 – Схемы рабочих органов для удаления льда:

а, б – ножевого; в – дискового; г, д – барабанного не приводного и приводного; 1 – нож; 2 – диск; 3 – барабан; 4 – резец; 5 – приводной вал

Скалыватели пассивного типа (рисунок 11.30, а, в) оснащают не приводными рабочими органами (ножами и барабанами).

В качестве примера на рисунке 11.31 приведена схема машины 3 на базе МТЗ, содержащая ножевой пассивный рабочий орган. Он представляет собой два гребенчатых ножа 4 (с двухсторонней заточкой), которые устанавливают на Н-образной раме коробчатого сечения. Для предохранения элементов металлоконструкций от повреждений на раме имеются два пружинных амортизатора с фиксирующими элементами. Толщину скалываемого снега регулируют винтами, установленными в кронштейнах рамы. Срезанный снег убирают цилиндрической щеткой 6.

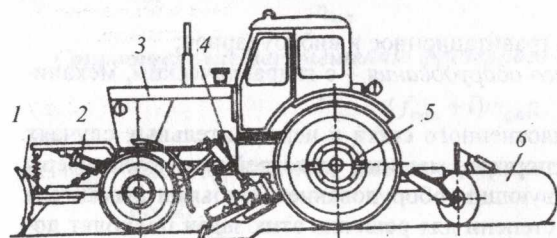


Рисунок 11.31 – Снегоочиститель с ножевым скалывателем:

1 – снегоуборочный отвал; 2 – гидроцилиндр управления отвалом; 3 – базовая машина; 4 – устройство для скалывания льда; 5 – груз; 6 – цилиндрическая щетка

На рисунке 11.32 представлена схема варианта ножевого скалывателя. Неподвижные ножи 4 гребенчатой формы с помощью рычажного механизма и шарниров устанавливают на раме 2, которую фиксируют на балке заднего моста трактора и с помощью двух гидроцилиндров 6 регулируют положение рамы и ножей. Копирное предохранительное устройство обеспечивает изменение положения ножей при их встрече с препятствием на дорожном полотне. Оно представляет собой клапан 8 с большим диапазоном регулирования, который связывают с полостью гидроцилиндра 6 ножа. Регулируя степень сжатия пружины клапана, создают заданное давление в гидроцилиндре ножа и соответствующую силу прижатия ножа к слою льда.

Для размещения рабочих органов, имеющих форму тел вращения с вертикальной и горизонтальной осью, используют заднюю и переднюю навески. Наиболее простой является конструкция не приводного диска (пассивного типа) со свободным вращением в горизонтальной плоскости, установленного на вертикальной оси и взламывающего (отделяющего) лед от покрытия под действием тягового усилия базовой машины. Диск может быть вогнутым или плоским с ровным или зубчатым краем (диаметром от 500 до 1200 мм). Такой скалыватель часто называют скрепером. Отсутствие предохранительных устройств ограничивает область его применения.

Другим примером скалывателя пассивного типа является рабочее оборудование цилиндрической формы с горизонтальной осью вращения (см. рисунок 11.30, г) в виде барабана с резаками, цилиндра с шипами или резаками, а также ротора, состоящего из наборных дисков с волнистыми краями или резаками. При свободном вращении зубчатого барабана происходит раскалывание льда только за счет вывешивания машины на барабане и контакта

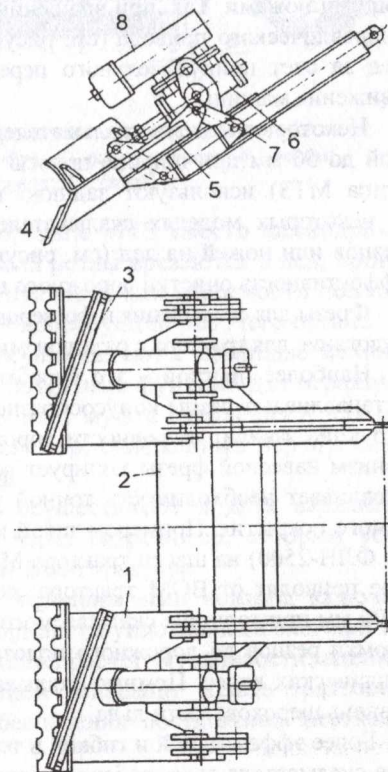


Рисунок 11.32 – Схема скалывателя с ножевым рабочим органом:

1 – плита (площадка); 2 – основная рама; 3 – отвал; 4 – нож; 5 – рама четырехзвенного механизма; 6 – гидроцилиндр; 7 – рычаг; 8 – клапан

его зубьев (резцов) с покрытием дороги. Результатом является неполное скалывание льда, поскольку барабан проворачивается и перемещается по дороге за счет сцепления со льдом при движении базовой машины.

Скалыватели активного типа (см. рисунок 11.30, б, в, д) оснащают приводными рабочими органами, в том числе барабанными фрезами и вибрирующими ножами. Так, при вращении барабана с помощью механического или гидравлического привода (см. рисунок 11.30, д) резцы 4 врезаются и дробят лед за счет принудительного перемещения барабана 3 и поступательного движения машины.

Некоторые модели скалывателей способны разрушать слой льда толщиной до 50 мм при ширине полосы обработки до 3 м. При этом в тракторах (типа МТЗ) используют заднюю навеску и привод подметальной щетки. В некоторых моделях скалывателей добавляют виброударное воздействие резцов или ножей на лед (см. рисунок 11.30, б), что существенно повышает эффективность очистки дорожного полотна от снега и льда.

Фрезы для скалывания и фрезеровки льда представляют собой навесное оборудование для трактора с различными вариантами конструктивных решений.

Наиболее простой – это барабанный рабочий орган, на котором жестко устанавливают резцы конусообразной формы. Эффективность подобной конструкции зависит от ровности дорожного покрытия, поскольку опорный механизм навесной фрезы копирует все неровности его поверхности, что обуславливает необходимость точной установки фрезы во избежание срезания самого покрытия. Примером такой конструкции может служить фреза (модели ФЛН-2500) на шасси трактора МТЗ-80/82. Два фрезерных барабана, которые приводят от ВОМ трактора, позволяют обрабатывать полосу шириной 2400 мм при толщине скалываемого льда до 100 мм. Расстояние от режущей кромки резцов до дорожного полотна регулируют с помощью опорных металлических колес. Помимо скалывания льда, фреза обеспечивает заданную степень шероховатости льда.

Более эффективной и гибкой в технологическом плане является конструкция скалывателя льда, рабочее оборудование которого обеспечивает изменение положения режущих элементов в зависимости от рельефа и твердости обрабатываемой поверхности. На рисунке 11.33 представлена конструктивная схема скалывателя льда, обладающего расширенными технологическими возможностями по сравнению с барабанными фрезами. Его рабочий орган включает жестко зафиксированные на ведущем валу 1 крайние диски 2 и 3, между которыми располагают рабочие диски 5 с закрепленными на них резцами 6. Как правило, используют одиннадцать-двенадцать дисков с шестью твердосплавными резцами на каждом. Диски 5 насаживают на вал 1 с зазором. Их положение на валу фиксируют двенадцать канатов 8, пропущенных через отверстия в дисках и закрепленных на крайних дисках 2 и 3, а также проставочные пружины 7, расположенные соосно канатам.

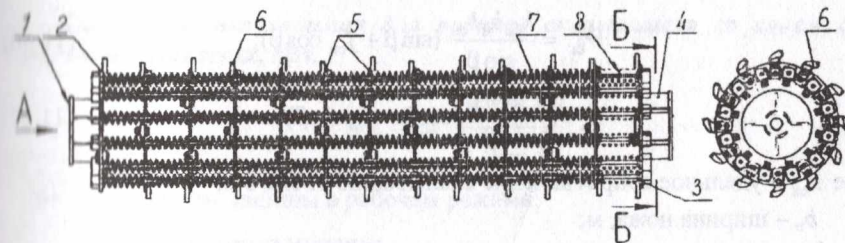


Рисунок 11.33 – Конструктивная схема рабочего органа скалывателя льда:
1 – вал; 2, 3 – ведущие диски; 4 – полумуфта; 5 – рабочие диски; 6 – резцы;
7 – проставочная пружина; 8 – канат

Скалыватель навешивают на трактор типа МТЗ вместо цилиндрической щетки. При вращении ведущего вала резцы врезаются в лед, производя его скалывание. При наезде на выпуклости или неровности полотна резцы огибают их за счет гибкости всей конструкции рабочего органа.

Вращение рабочего оборудования осуществляют с помощью механического или гидравлического привода. Защитные функции для ограничения пиковой нагрузки на привод выполняет муфта сцепления – для механического привода или же сам гидромотор, снабженный перепускным клапаном давления, – для гидропривода.

Привод активного рабочего органа осуществляют в двух вариантах: во-первых, от гидросистемы трактора через гидромотор, который устанавливают на оси барабана, во-вторых, от ВОМ трактора.

Расчет скалывателя, оснащенного неподвижными ножами, включает оценку силового воздействия рабочего органа на уплотненный снег при его скалывании, тяговый расчет машины, а также расчет устойчивости машины.

Как правило, ножевым оборудованием оснащают только тракторное шасси без рессорной подвески для обеспечения достаточной жесткости воздействия ножей на снег.

При оценке сил сопротивления снега скалыванию, действующих на нож, обычно рассматривают два вида снежного покрова:

- 1) слой снега большой плотности и прочности, но малой толщины;
- 2) слой снега малой плотности и прочности, но большой толщины.

Для слоя снега большой плотности и прочности (первый вид снежного покрова) экспериментально установлено, что снег под действием ножа отделяется от массива по плоскостям, расположенным под углом 30° к обрабатываемой поверхности. С учетом этого эффекта и силы трения, возникающей при скалывании снега, горизонтальную $W_{\text{ск}}$ и вертикальную $R_{\text{с}}$ составляющие силы сопротивления снега скалыванию, H , определяют по формулам

$$W_{\text{ск}} = \frac{k_{\text{ск}} b_{\text{н}} h_{\text{сн}}}{\sin \beta} (\sin \beta + f_{\text{сн}} \cos \beta); \quad (11.66)$$

$$R_{\text{в}} = \frac{k_{\text{ск}} b_{\text{н}} h_{\text{сн}}}{\sin \beta} (\cos \beta - f_{\text{сн}} \sin \beta), \quad (11.67)$$

где $k_{\text{ск}}$ – удельное сопротивление скалыванию снега, Па;

$b_{\text{н}}$ – ширина ножа, м;

$h_{\text{сн}}$ – толщина скалываемого слоя снега, м;

β – угол наклона срезаемого слоя снега при скалывании, $\beta = 30^\circ$;

$f_{\text{сн}}$ – коэффициент трения стали по снегу.

Для слоя снега малой плотности и прочности (второй вид снежного покрова) составляющие силы сопротивления снега скалыванию, Н, определяют по формулам

$$W_{\text{ск}} = \frac{k_{\text{ск}} b_{\text{н}} h_{\text{сн}}}{\sin \gamma} (\sin \gamma + f_{\text{сн}} \cos \gamma), \quad (11.68)$$

$$R_{\text{в}} = \frac{k_{\text{ск}} b_{\text{н}} h_{\text{сн}}}{\sin \gamma} (f_{\text{сн}} \sin \gamma - \cos \gamma). \quad (11.69)$$

Если $b_{\text{н}} \geq 200$ мм, коэффициент $k_{\text{ск}}$ определяют из выражения

$$k_{\text{ск}} = 8,0 \cdot 10^3 \{ [125(\rho_{\text{сн}} - 0,4) + 22] + 0,75(t - 15) \}, \quad (11.70)$$

где $\rho_{\text{сн}}$ – плотность снега, $^\circ\text{C}$, $\rho_{\text{сн}} = 0,4 \dots 0,6$ т/м³;

t – температура снега, $^\circ\text{C}$, $t = (-3 \dots +40)$.

При работе машины возможны два вида движения:

1) установившееся – при постоянной толщине снежного покрова, когда реактивные силы, действующие на скалыватель со стороны снега, полностью уравновешиваются силой тяги и силой тяжести машины;

2) неустойчивое – при изменяющейся толщине слоя снега, когда реактивные силы меняются в процессе работы машины.

Для режима установившегося движения в тяговом расчете следует учитывать следующие силы: сопротивление скалываемого слоя снега, сопротивление трения ножа по снегу, а также сопротивление перемещению машины в рабочем режиме.

Для снежного слоя высокой прочности и малой толщины общая сила сопротивления, Н,

$$W_{\Sigma}^{\text{вп}} = k_{\text{ск}} b_{\text{н}} h_{\text{сн}} (1 + f_{\text{сн}} \text{ctg} \beta) + (f_{\text{пер}} + i) G_{\text{ск}}, \quad (11.71)$$

где $f_{\text{пер}}$ – коэффициент сопротивления передвижению базового трактора;

i – уклон пути;

$G_{\text{ск}}$ – сила тяжести скалывателя, Н.

Мощность, необходимая для работы скалывателя со слоем снега высокой прочности, кВт,

$$N_{\text{вп}} = 10^{-3} \frac{W_{\Sigma}^{\text{вп}} v_{\text{р}}}{\eta_{\text{пр}}}, \quad (11.72)$$

где $v_{\text{р}}$ – скорость машины в рабочем режиме;

$\eta_{\text{пр}}$ – КПД привода машины.

Для снежного слоя низкой прочности и большой толщины общая сила сопротивления, Н,

$$W_{\Sigma}^{\text{нп}} = k_{\text{ск}} b_{\text{н}} h_{\text{сн}} (1 + f_{\text{сн}} \text{ctg} \gamma) + (f_{\text{пер}} + i) G_{\text{ск}}, \quad (11.73)$$

где γ – угол наклона ножей к горизонту, град.

Мощность, необходимая для работы скалывателя со слоем снега низкой прочности и большой толщины, кВт,

$$N_{\text{нп}} = 10^{-3} \frac{W_{\Sigma}^{\text{нп}} v_{\text{р}}}{\eta_{\text{пр}}}. \quad (11.74)$$

Для режима неустойчивого движения в тяговых расчетах при оценке сил сопротивления снега скалыванию следует вносить поправочные коэффициенты, связанные с изменением толщины и прочности снежного покрова.

Устойчивость скалывателя при работе, т. е. возможность его прямолинейного движения в рабочем режиме, обеспечивается тремя условиями.

Во-первых, должно выполняться уравнение

$$W_{\Sigma}^{\text{вп}} \leq \varphi_{\text{сц}} P_{\text{сц}}^{\text{вп}} \quad (11.75)$$

или

$$W_{\Sigma}^{\text{нп}} \leq \varphi_{\text{сц}} P_{\text{сц}}^{\text{нп}}, \quad (11.76)$$

где $\varphi_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления;

$P_{\text{сц}}^{\text{вп}}$ – сила тяги машины по сцеплению для снега высокой прочности, Н;

$P_{\text{сц}}^{\text{нп}}$ – сила тяги машины по сцеплению для снега низкой прочности, Н.

Тяговые характеристики по сцеплению, Н:

– для снега высокой прочности

$$P_{\text{сц}}^{\text{вп}} = \frac{b_{\text{н}} + a_{\text{тр}} \psi f_{\text{пер}}}{c_{\text{тр}} + a_{\text{тр}} \varphi_{\text{сц}} \psi} G_{\text{ск}}; \quad (11.77)$$

– для снега низкой прочности

$$P_{\text{сц}}^{\text{нп}} = \frac{b_{\text{н}} - a_{\text{тр}} \psi f_{\text{пер}}}{c_{\text{тр}} - a_{\text{тр}} \phi_{\text{сц}} \psi} G_{\text{ск}}, \quad (11.78)$$

где $a_{\text{тр}}$ – расстояние от оси трактора до точки приложения силы, м;

$c_{\text{тр}}$ – база трактора, м;

ψ – коэффициент, характеризующий соотношение горизонтальной $R_{\text{г}}$ и вертикальной $R_{\text{в}}$ составляющих силы сопротивления снега скалыванию, $\psi = R_{\text{в}} / R_{\text{г}}$;

– для снега высокой прочности –

$$\begin{aligned} R_{\text{в}} &= R \sin \beta, \\ R_{\text{г}} &= R \cos \beta; \end{aligned} \quad (11.79)$$

– для снега низкой прочности –

$$\begin{aligned} R_{\text{в}} &= R \sin \gamma, \\ R_{\text{г}} &= R \cos \gamma, \end{aligned} \quad (11.80)$$

где R – сила сопротивления снега скалыванию, Н.

Во-вторых, для обеспечения эффективного управления скалывателем должно выполняться условие

$$R_{\text{пер}} > 0,25 G_{\text{ск}}, \quad (11.81)$$

где $R_{\text{пер}}$ – вертикальная реакция снежного покрова на передние управляемые колеса, Н;

– для снега высокой прочности

$$\left[(1 + \psi f_{\text{пер}}) - \frac{b_{\text{н}} - a_{\text{тр}} \psi f_{\text{пер}}}{c_{\text{тр}} + a_{\text{тр}} \phi_{\text{сц}} \psi} (1 + \phi_{\text{сц}} \psi) \right] G_{\text{ск}} \geq 0,25 G_{\text{ск}}; \quad (11.82)$$

– для снега низкой прочности

$$\left[(1 - \psi f_{\text{пер}}) - \frac{b_{\text{н}} - a_{\text{тр}} \psi f_{\text{пер}}}{c_{\text{тр}} - a_{\text{тр}} \phi_{\text{сц}} \psi} (1 - \phi_{\text{сц}} \psi) \right] G_{\text{ск}} \geq 0,25 G_{\text{ск}}. \quad (11.83)$$

В-третьих, должна быть обеспечена боковая устойчивость, т. е. момент сил сопротивления скалыванию должен компенсироваться моментом боковых сил сцепления $M_{\text{сц}}$ колес с опорной поверхностью (рисунок 11.34):

$$M_{\text{сц}} > a_{\text{тр}} W_{\text{ск}}, \quad (11.84)$$

где $M_{\text{сц}} = c_{\text{тр}} S_1$ – при проверке устойчивости колес передней (первой) оси, Н·м;

$M_{\text{сц}} = c_{\text{тр}} S_2$ – при проверке устойчивости колес задней (второй) оси, Н·м;

S_1 и S_2 – боковые силы сцепления колес первой и второй осей.

Эти силы находят из формул

$$\begin{aligned} S_1 &= \phi_{\text{ск}} v R_{\text{пер}}; \\ S_2 &= \phi_{\text{ск}} v P_{\text{сц}}, \end{aligned} \quad (11.85)$$

где $\phi_{\text{ск}}$ – коэффициент трения скольжения колес по снегу.

Значения $P_{\text{сц}}$ и $R_{\text{пер}}$ определяют по формулам (11.77) и (11.78), (11.82) и (11.83) с учетом высокой или низкой прочности снега при скалывании.

Эксплуатационная производительность скалывателя, м²/ч,

$$П_{\text{ск}} = 3,6 \cdot 10^3 \frac{K_{\text{в}} (b_{\text{ск}} - \Delta b) v_{\text{р}}}{n_{\text{пр}}}, \quad (11.86)$$

где $b_{\text{ск}}$ – ширина полосы скалывания, м;

Δb – ширина перекрытия смежных проходов, $\Delta b = 0,1 \dots 0,3$ м;

$n_{\text{пр}}$ – число проходов, необходимое для полной очистки дорожного полотна.

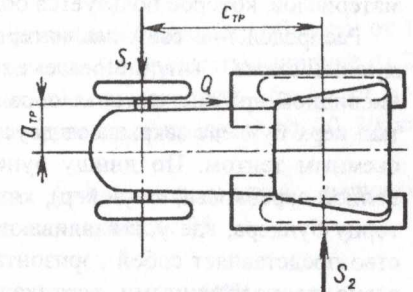


Рисунок 11.34 – Схема для оценки боковой устойчивости скалывателя

11.7 Распределители противогололедных материалов

Распределение противогололедных материалов является завершающей стадией процесса очистки дорожного полотна для обеспечения безопасности движения в зимних условиях. При неизбежном наличии (после механической обработки) на поверхности покрытия тонкого слоя снега или льда для повышения сцепления колес с таким покрытием используют разбрасывание песка, мелкого щебня или его отсева с размером зерен 0–5 мм, гранитной крошки, соли (хлорида натрия и др.) и солевесчаных смесей, а также разбрызгивание солевых растворов.

Для повышения эффективности обработки распределителями дорожное полотно предварительно очищают от снега с помощью плужно-щеточных или шнеко-роторных снегоочистителей.

Каждый из противогололедных материалов имеет свой диапазон наиболее эффективного применения. В частности, соль и солевые растворы используют при температуре воздуха не ниже минус 10 °С. Солеминеральные смеси (песок и мелкий щебень с добавлением соли) применяют в интервале температур от минус 5 до минус 15 °С. Минеральные реагенты используют при температуре ниже минус 10 °С. В скандинавских странах для борьбы с гололедом при температуре ниже минус 10–15 °С применяют метод, который заключается в распределении по поверхности нагретого до 160–180 °С мелкого щебня.

Как правило, для этого используют комбинированные дорожные машины на шасси грузовых автомобилей, конструкция и мощность привода которых в наибольшей степени подходят для установки необходимого оборудования. Однако производители дорожной техники выпускают также специализированное оборудование для распределения противогололедных материалов, которое пользуется большим спросом у дорожников.

Распределение сыпучих материалов осуществляют в основном по следующей схеме. Сыпучий реагент засыпают в бункер (кузов) в форме трапециевидной призмы, которая обращена меньшим основанием вниз. Открытый верх бункера закрывают двускатной решеткой, играющей роль сита, и съемным тентом. По днищу бункера прокладывают питатель (например, цепной скребковый конвейер), который выносит сыпучую смесь к заднему торцу бункера, где устанавливают распределительное устройство. Устройство представляет собой горизонтальный диск, закрытый кожухом, с радиально расположенными вертикальными лопастями на плоскости диска. Диск вращается и равномерно разбрасывает материал через щели в кожухе по обрабатываемой поверхности полотна. Если распределитель располагают на продольной оси машины, выброс материала происходит симметрично оси.

Распределители сыпучих материалов классифицируют по следующим признакам:

1) по способу передвижения – самоходные (в составе комбинированных машин) и несамоходные (ручные в виде легких тележек, навесные, полуприцепные и прицепные к автомобилю или трактору, съемные для установки в кузов самосвала);

2) по виду работ – специализированное (для зимнего содержания дорог) и универсальное (для круглогодичного содержания) распределительное оборудование;

3) по типу привода рабочих органов – с гидравлическим и механическим (от ВОМ базового шасси);

4) по конструкции распределителя – с центробежным диском (одним или двумя) и распределительным валом;

5) по объему рабочего бункера – малой, средней и большой вместимости;

6) по варианту установки бункера-кузова – на раме шасси, на платформе самосвала и подъемником типа «мультилифт»;

7) по типу питателя – со скребковым цепным, ленточным, пластинчатым и шнековым конвейером, а также с наклонными лотками.

Для работы на крупных автомагистралях используют шасси грузовых автомобилей грузоподъемностью более 3 т, например, МАЗа, КамАЗа с колесной формулой 6×6, 6×4 или 4×2. Машины должны иметь двигатель большой мощности, обеспечивающий высокую рабочую скорость, возможность одновременного привода различного навесного оборудования, а также большую грузоподъемность для длительной эксплуатации машины без дозаправки антигололедными материалами. Как правило, такие машины являются универсальными, поскольку их снабжают комплектами оборудования для круглогодичного содержания дорог и улиц.

Отечественные пескоразбрасыватели оснащают бункерами объемом от 1 до 16 м³, которые обеспечивают распределение материала при ширине от 2 до 12 м и при плотности сыпки от 10 до 500 г/м², скорость обработки достигает 40 км/ч. Масса оборудования изменяется в пределах от 20–30 кг (для ручных устройств) до 2,7–3,0 т.

Схема типичного рабочего органа для распределения сыпучих противогололедных материалов показана на рисунке 11.35.

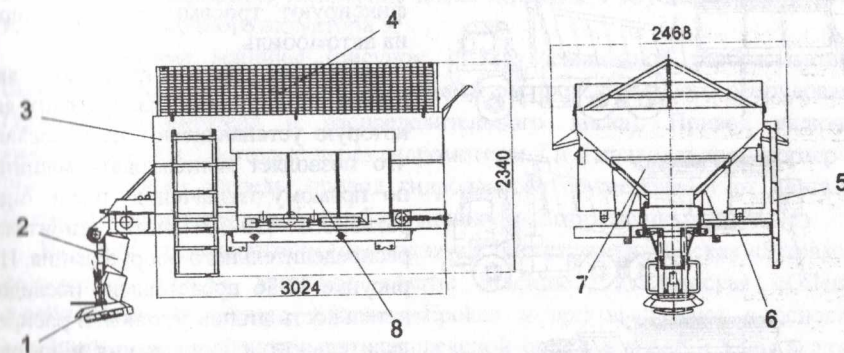


Рисунок 11.35 – Схема пескоразбрасывающего оборудования:
1 – разбрасыватель; 2 – лоток; 3 – кузов; 4 – сортировочная решетка; 5 – лестница;
6 – подрамник; 7 – скребковый конвейер; 8 – бак

Рабочее оборудование распределителя включает кузов 3, скребковый конвейер 7, разбрасывающий диск 1, а также гидросистему и механизмы привода. Кузов устанавливают на подрамнике 6, который крепится к лонжеронам

базового шасси. В нижней части кузова, имеющего наклонные стенки, размещают скребковый конвейер 7. Передняя и задняя стенки кузова имеют окна для прохода несущей (верхней) ветви конвейера. На заднем борту кузова располагают лоток 2, из которого сыпучий материал поступает на разбрасывающий диск 1. Окно в заднем борте кузова, предназначенное для прохода рабочей ветви транспортера, частично перекрывается шиберной заслонкой и является дополнительным регулятором объема материала, поступающего на диск. В бункере и в передней части кузова располагают валы транспортера с приводными звездочками. Верхняя рабочая ветвь транспортера-питателя с материалом перемещается по днищу кузова, а нижняя ветвь — под его днищем. Распределитель имеет баки 8 с водой для смачивания твердых реагентов.

Установку и демонтаж сменного кузова производят различными методами. Во-первых, монтаж кузова непосредственно на раму шасси осуществляют либо с помощью крана, либо с использованием собственного оборудования. В последнем варианте сменный кузов снабжают выдвижными опорами с домкратами, с помощью которых при демонтаже он приподнимается над рамой и машина выезжает из-под кузова. Во-вторых, кузов рабочего оборудования снабжают складными опорными стойками и устанавливают в кузове самосвала, что значительно ускоряет процесс установки или снятия оборудования. В-третьих, монтаж производят с использованием подъемных устройств типа «мультилифт» — кузов рабочего оборудования цепляют крюковым захватом или фиксируют тросами и затягивают на автомобиль.

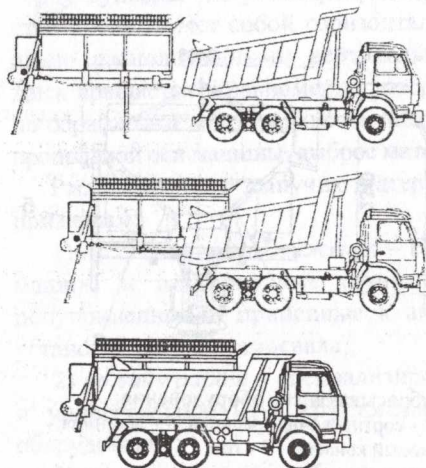


Рисунок 11.36 – Последовательность установки распределительного оборудования

Наиболее распространенной является конструкция распределителя, которую устанавливают на самосвал, что позволяет использовать машину по прямому назначению после оперативного (20–30 мин) демонтажа распределительного оборудования. На рисунке 11.36 представлена последовательность этапов установки распределительного оборудования в кузове самосвала без использования грузоподъемных механизмов. На начальном этапе оборудование располагают на опорах хранения, отрегулированных по высоте грузовой платформы самосвала. Затем при движении зад-

ним ходом машины закатывают оборудование в его кузов по роликам опорной рамы, предварительно демонтировав опоры хранения. На последнем этапе фиксируют оборудование в кузове с помощью шкворней и шплинтов.

Распределительные устройства, которыми оснащают пекоразбрасывающие машины, имеют примерно одинаковую конструкцию. На рисунке 11.37 показан один из вариантов конструкции. Устройство устанавливают на опоре 1, связанной с рамой конвейера-питателя. Оно состоит из верхней 2 и нижней 3 рам, лотка питателя 4, защитного кожуха 5, гидромотора привода диска 6 и диска с лопастями 7. Регулирование положения диска в вертикальной плоскости осуществляют за счет взаимного перемещения рам 2 и 3, его перевод из рабочего в транспортное положение производят с помощью гидроцилиндра (на рисунке 11.37 не показан). Регулирование положения лотка питателя 4 осуществляют с помощью регулировочного актуатора 9.

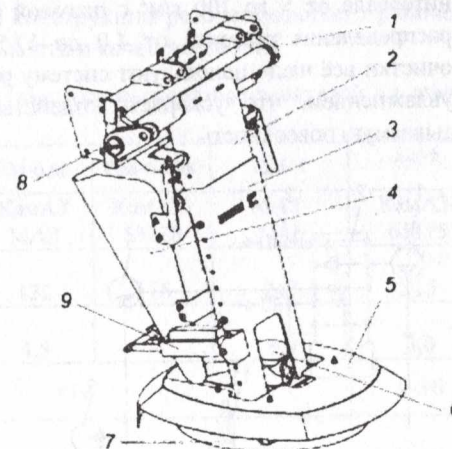


Рисунок 11.37 – Разбрасывающее устройство: 1 – опора устройства; 2, 3 – верхняя и нижняя рамы; 4 – лоток питателя; 5 – направляющий и защитный кожух; 6 – гидромотор привода диска; 7 – разбрасывающий диск с лопастями; 8 – стопорный палец; 9 – актуатор

Гидросистема машины (рисунок 11.38), оснащенной разбрасывателем сыпучих материалов, обеспечивает привод распределительного оборудования (транспортера-питателя и распределительного диска). Привод включает гидронасосы 1 и 5, которые через гидромоторы 7 и 6 приводят транспортер 9 и диск 8. В свою очередь, привод гидронасосов осуществляют от двигателя базового шасси через коробку отбора мощности 2 от различных ВОМ.

Ведущие производители (немецкая «Schmidt», американская «Swenson», чешская «TATRA», финская «Acrtic Machine», итальянская «Giletta», швейцарская «Boschung», датская «Epoke» и др.) выпускают в основном комбинированные машины для комплексной очистки дорог и улиц в любое время года. Как правило, в зимней комплектации машины оборудуют комбинированным распределителем жидких и твердых реагентов с возможностью смачивания последних. В зависимости от типоразмера вместимость бункера составляет от 1 до 10 м³, а ширина распределения — от 1 до 24 м. Автоматизированные системы управления комбинированных машин обеспечивают высокую точность расхода и распределения антигололедных материалов в

зависимости от заданной программы и условий эксплуатации. Например, система управления фирмы «Giletta» дозирует плотность жидкого реагента в интервале от 5 до 100 г/м² с шаговой регулировкой по 1 г/м² при ширине распределения реагента от 4,0 до 17,5 м. Для повышения эффективности очистки всё чаще используют систему распределения сыпучих реагентов с их увлажнением, что ускоряет воздействие твердых материалов на обрабатываемую поверхность.

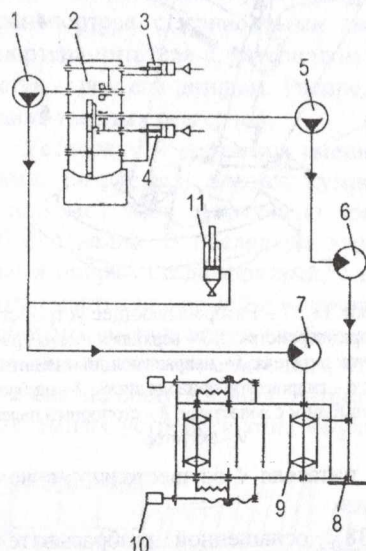


Рисунок 11.38 – Кинематическая схема машины с пескоразбрасывающим оборудованием:
1, 5 – гидронасосы; 2 – коробка отбора мощности; 3, 4 – пневмоцилиндры механизма включения; 6 – гидромотор распределителя; 7 – гидромотор привода транспортера; гидроцилиндр подъема платформы; 8 – разбрасывающий диск; 9 – транспортер; 10 – натяжное устройство транспортера

В таблице 11.10 представлены некоторые технические характеристики отечественных пескоразбрасывателей на основе грузовых автомобилей. Как видно из таблицы 11.10, технические и технологические показатели (максимальная ширина рабочей зоны обработки, плотность посыпки инертным материалом и химически активным реагентом, рабочая и транспортная скорости, время на монтаж-демонтаж оборудования – до 2 ч) не зависят от мощности силовой установки базового шасси и одинаковы для всех указанных распределителей. Наиболее значимым параметром является объем бункера для сыпучего материала, величина которого определяет производительность машины.

Для работы на нешироких улицах применяют более маневренные и менее грузоподъемные машины, включая навесное и полуприцепное оборудование к пневмоколесным тракторам, которое оснащают только распределительным оборудованием.

Производители предлагают широкий спектр навесного и прицепного пескоразбрасывающего оборудования. Различия в конструкции касаются объема бункера для песка, типа привода и конструкции разбрасывающего рабочего органа, что влияет на производительность и качество работ.

Таблица 11.10 – Технические характеристики пескоразбрасывателей на шасси автомобиля

Показатель	ПМ-6	ПМ-6-01	ПМ-6,6К	ПМ-6-03К	ПМ-9	ПР-6
Базовое шасси	МАЗ-5551	МАЗ-5337**	КамАЗ-МАЗ	КамАЗ-53228	МАЗ-5516	КамАЗ-65115
Мощность, кВт	132	132	132	176	243	215
Объем бункера, м ³	4,5	4,6	4,5	–	9,0	6,0
Ширина обработки, м	<12					4–16
Плотность посыпки*, кг/м ²	0,5/0,01					0,5/–
Скорость, км/ч: рабочая транспортная	30–40 60					40 –
* В числителе – инертный материал, в знаменателе – химический реагент. ** Включают другие модели МАЗ.						

На рисунке 11.39 показаны навесной и полуприцепной разбрасыватели сыпучих материалов, которые используют в сборе с пневмоколесным трактором типа МТЗ.

Навесное оборудование отличается компактностью, что обеспечивает отличную маневренность трактора при выполнении работ в стесненных условиях. Типичный навесной разбрасыватель (см. рисунок 11.39, а) содержит раму с прицепным устройством для автосцепки задней навески трактора, трапезиевидный бункер с дозатором, привод и разбрасывающий орган. Форма бункера обеспечивает автоматическую подачу песка к дозатору разбрасывателя под действием собственной силы тяжести разбрасываемого материала. Во избежание сводообразования бункеры нередко оснащают механическими ворошителями. От дозатора песок попадает на разбрасывающий диск с лопатками, вращение которого обеспечивает гидромотор с приводом от гидросистемы трактора с использованием быстроразъемных соединительных муфт. При остановке трактора срабатывает рабочий вал, перекрывая подачу сыпучей смеси.

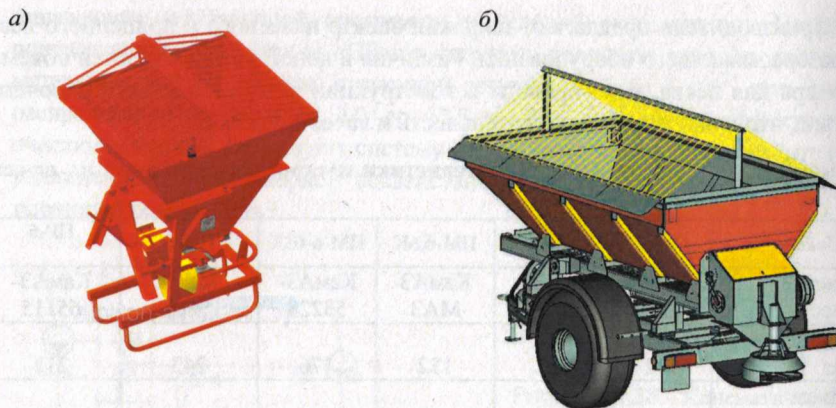


Рисунок 11.39 – Оборудование для распределения сыпучих противогололедных материалов:

а – навесное (с бункером 0,5 м³); б – полуприцепное (с бункером 2,5 м³)

Прицепные разбрасыватели (см. рисунок 11.39, б) устанавливают на одно- или двухосные шасси. В отличие от навесных устройств их оборудуют транспортером подачи песка к дозатору разбрасывателя. По способу привода активных органов машины различают гидравлический привод, а также механический – от заднего ВОМ МТЗ и от ходовых колес базового шасси. Некоторые прицепные модели оснащают автономной гидросистемой с приводом от ВОМ трактора (таблица 11.11).

Таблица 11.11 – Технические характеристики пескоразбрасывателей на базе МТЗ

Модель	Объем бункера, м³	Масса, кг	Привод	Ширина обработки, м	Рабочая скорость, км/ч	Тип
Л-116-01	0,5	200	ВОМ трактора	3,0–5,0	6–15	Н
РН-1,3	0,6	170		3,0–5,0	6–15	
ЕМ-06	0,6	1300	ГП	1,0–4,0	5–20	П
Л-415	1,0	810		2,0–3,0	3–5	
ПР-2,5	2,5	1900	ВОМ трактора	4,0–9,0	6–15	
ПРК-3	2,0	1000	ГП	1,0–8,0	3–5	
ПП-1	3,0	1900		6,0	6–15	
PRONAR T130	1,0	980		1,7–3,0	3–5	

Примечание – ГП – привод рабочего оборудования от гидросистемы трактора; Н – навесное, П – полуприцепное оборудование.

Рабочее оборудование прицепных моделей мало отличается от рабочих органов самоходных машин (см. рисунок 11.35) и включает кузов для песка (или другого противогололедного материала), скребковый конвейер-питатель, разбрасывающий диск, а также гидросистему привода рабочих органов (см. рисунок 11.38).

Конструкция рабочего органа позволяет вести как симметричное, так и асимметричное распределение материала относительно продольной оси машины, что способствует повышению эффективности работы машин в условиях ограниченного пространства. Для этого используют один или два распределительных диска.

Наряду с сыпучими материалами для борьбы со скользкостью активно используют жидкие антигололедные реагенты, которые требуют дополнительного оборудования для комбинированных машин. Распределители жидких реагентов выполняют в навесном варианте или размещают на полуприцепах. На рисунке 11.40 представлена конструктивная схема полуприцепного оборудования для распределения жидких реагентов. Распределительное устройство представляет собой два дисковых разбрызгивателя 5, которые устанавливают на горизонтальной раме. Разбрызгиватель состоит из закрытого кожухом диска, подвески и гидромотора. Подвеска обеспечивает поворот диска в продольной и поперечной плоскостях, а также изменение его высоты над дорожным полотном. На раме распределителя монтируют дозирующее устройство, которое регулирует количество реагента, подаваемое на диски. Кроме этого, используют машины, оснащенные распределительными рейками, на которых установлены разбрызгивающие форсунки. Сечение реек и шаг установки форсунок должен обеспечивать равномерное распределение жидкого реагента по всей ширине обрабатываемой полосы.

Расчет распределителей сыпучих материалов включает определение основных характеристик рабочих органов и механизмов, технических и эксплуатационных параметров машины, тяговый расчет, баланс мощности и другие расчеты.

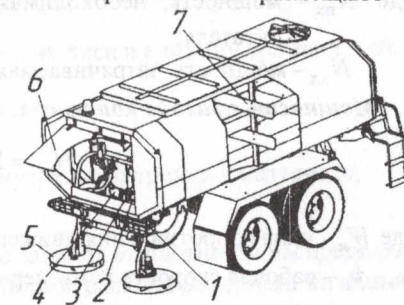


Рисунок 11.40 – Оборудование для распределения жидких реагентов:

- 1 – кран напорной магистрали для реагентов;
- 2 – гидромотор привода насосов для реагентов;
- 3 – датчик частоты вращения насоса для реагентов;
- 4 – насос для распределения реагентов;
- 5 – распределительный диск;
- 6 – крышка заднего отсека;
- 7 – волнорез цистерны

Исходными данными для расчетов обычно являются технологические данные, в их числе ширина и плотность обработки покрытия, скорость рабочего процесса и др.

Основные характеристики рабочих органов, в том числе распределительного диска и систем его питания и регулирования определяют на основе анализа движения частиц сыпучего материала по диску и распределения по полотну, а также расположения диска на машине.

Баланс мощности включает оценку мощностей, затрачиваемых на привод механизмов подачи материала на разбрасывающий диск и на привод самого диска.

Суммарная мощность на привод рабочего оборудования, кВт,

$$N_{\text{ро}} = N_{\text{пк}} + N_{\text{пд}}, \quad (11.87)$$

где $N_{\text{пк}}$ – мощность, необходимая для привода скребкового конвейера-питателя;

$N_{\text{пд}}$ – мощность, затрачиваемая на привод разбрасывающего диска.

Мощность привода конвейера, кВт,

$$N_{\text{пк}} = 10^{-3} \frac{W_{\text{к}} v_{\text{к}}}{\eta_{\text{пк}}}, \quad (11.88)$$

где $W_{\text{к}}$ – сила сопротивления движению цепи конвейера, Н;

$v_{\text{к}}$ – рабочая скорость конвейера, м/с;

$\eta_{\text{пк}}$ – КПД привода конвейера.

При оценке сопротивления движению цепи конвейера, Н, следует учитывать сопротивления, возникающие от сил тяжести перемещаемого материала и собственно конвейера, а также сопротивления внутреннему трению материала, которое происходит между его подвижным (на конвейере) и неподвижным (над конвейером) слоем, которые определяют из выражения:

$$W_{\text{к}} = k_{\text{пц}} (f_{\text{м}} q_{\text{м}} + f_{\text{к}} q_{\text{к}} + f_{\text{мм}} q_{\text{мм}}) L_{\text{к}}, \quad (11.89)$$

где $k_{\text{пц}}$ – коэффициент, учитывающий сопротивление в подшипниках звездочек и от перегиба цепи, $k_{\text{пц}} = 1,25$;

$f_{\text{м}}$ – коэффициент трения материала по стали, $f_{\text{м}} = 0,50$;

$f_{\text{к}}$ – коэффициент сопротивления перемещению конвейера, $f_{\text{к}} = 0,11 \dots 0,13$;

$f_{\text{мм}}$ – коэффициент внутреннего трения материала, т. е. трения материала по материалу, $f_{\text{мм}} = 1,0$;

$q_{\text{м}}$ – линейная нагрузка от перемещаемого конвейером материала, Н/м;

$q_{\text{к}}$ – линейная нагрузка от конвейера, Н/м;

$q_{\text{мм}}$ – линейная нагрузка от неподвижного материала, размещенного над перемещаемым материалом, Н/м;

$L_{\text{к}}$ – длина конвейера, м.

Мощность привода диска $N_{\text{пд}}$ включает мощность, необходимую для сообщения материалу скорости отбрасывания, и мощность, затрачиваемую на преодоление трения при движении частиц по диску:

$$N_{\text{пд}} = N_{\text{ск}} + N_{\text{тр}}. \quad (11.90)$$

Мощность на отбрасывание материала, кВт,

$$N_{\text{ск}} = 10^{-3} \frac{m_{\text{с}} \omega_{\text{д}}^2 R_{\text{д}}^2}{2\eta_{\text{пд}}} [1 + (\kappa - f_{\text{м}})^2], \quad (11.91)$$

где $m_{\text{с}}$ – масса материала, поступающего на диск в единицу времени, кг/с;

$\omega_{\text{д}}$ – угловая скорость диска, с^{-1} ;

$R_{\text{д}}$ – радиус диска, м;

κ – коэффициент, зависящий от внутреннего трения в материале,

$$\kappa = \sqrt{f_{\text{мм}} + 1}.$$

В свою очередь, **приведенная масса** зависит от плотности распределения материала на дорожном полотне, т. е. нормы расхода материала на единицу обрабатываемой площади $g_{\text{м}}$, кг/м^2 , ширины распределения материала $B_{\text{рм}}$, м, и рабочей скорости $v_{\text{р}}$, передвижения машины, м:

$$m_{\text{с}} = g_{\text{м}} B_{\text{рм}} v_{\text{р}}. \quad (11.92)$$

Мощность на преодоление трения, кВт,

$$N_{\text{тр}} = 10^{-3} \frac{m_{\text{с}} \omega_{\text{д}}^2 f_{\text{м}}}{2\eta_{\text{пд}}} (\kappa - f_{\text{м}}) (R_{\text{д}}^2 - r_1^2), \quad (11.93)$$

где r_1 – усредненный радиус расположения частиц на диске, м,

$$r_1 = \frac{1}{2} (r' + r''),$$

r' – максимальное удаление частиц материала от оси диска, $r' = 8 / \omega_{\text{д}}$;

r'' – минимальное удаление частиц песка от оси диска, $r'' = (1,1 \dots 1,2)r$.

Мощность на передвижение машины, кВт,

$$N_{\text{пер}} = 10^{-3} \frac{(f_{\text{пер}} + i) G_m v_p}{\eta_{\text{п}}}. \quad (11.94)$$

где G_m – сила тяжести машины, полностью загруженной противогололедным материалом, Н;

$\eta_{\text{п}}$ – КПД привода механизма передвижения машины.

Таким образом, **общая мощность, необходимая для работы распределителя,**

$$N_{\Sigma} = N_{\text{пк}} + N_{\text{тр}} + N_{\text{пер}}. \quad (11.95)$$

Эксплуатационная производительность машины для распределения противогололедных материалов, $\text{м}^3/\text{ч}$,

$$P_{\Sigma} = 3,6 \cdot 10^3 \frac{\kappa_{\text{в}} \kappa_{\text{з}} \rho_m V_6}{g_m T_{\text{ц}}}, \quad (11.96)$$

где $\kappa_{\text{з}}$ – коэффициент заполнения бункером материала;

ρ_m – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

V_6 – вместимость бункера, м^3 .

$T_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла, с

Рабочий цикл включает следующие стадии: распределение материала T_p , пробег от места работы к складу материала и обратно $T_{\text{тр}}$, погрузку материала в бункер $T_{\text{пог}}$, а также вспомогательные операции $T_{\text{всп}}$:

$$T_{\text{ц}} = T_p + T_{\text{тр}} + T_{\text{пог}} + T_{\text{всп}}. \quad (11.97)$$

Продолжительность распределения материала, с,

$$T_c = \frac{\kappa_{\text{з}} \rho_m V_6}{g_m B_{\text{рм}} v_p}. \quad (11.98)$$

Продолжительность транспортирования материала, с,

$$T_{\text{пог}} = \frac{2L_{\text{рс}}}{v_{\text{тр}}}, \quad (11.99)$$

где $L_{\text{рс}}$ – расстояние от места работы до склада материала, м;

$v_{\text{тр}}$ – транспортная скорость движения машины, $\text{м}/\text{с}$.

Контрольные вопросы

- 1 Классифицируйте плужные снегоочистители по основным признакам.
- 2 Какие силы сопротивления следует учитывать в тяговом расчете тихоходного плужного и плужно-щеточного снегоочистителя (в рабочем режиме)?
- 3 Какие силы сопротивления отличают тяговые расчеты тихоходного и быстроходного плужных снегоочистителей?
- 4 Какое сменное рабочее оборудование применяют в комбинированных дорожных машинах?
- 5 Укажите основные признаки классификации роторных снегоочистителей.
- 6 В чем состоят конструктивные и технологические отличия роторных снегоочистителей с раздельным и совмещенным рабочим органом?
- 7 Какие компоненты учитывают при оценке баланса мощности роторного снегоочистителя?
- 8 Напишите и прокомментируйте формулу для определения эксплуатационной производительности роторного снегоочистителя.
- 9 Изобразите кинематическую схему малогабаритного снегоочистителя с ручным управлением.
- 10 Дайте классификацию снегопогрузочных машин по основным признакам.
- 11 Приведите схемы рабочего оборудования снегопогрузчиков.
- 12 Назовите наиболее значимые силы сопротивления при работе снегопогрузчиков с фрезерным, шнековым и лаповым питателями.

12 РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ СОЗДАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Межгосударственный стандарт ГОСТ 30166–2014 «Ресурсосбережение. Основные положения» дает краткое, но емкое представление о ресурсосбережении как о многоплановой деятельности по рациональному использованию и экономному расходованию материальных ресурсов на всех стадиях жизненного цикла продукции. Применительно к машиностроению ресурсосбережение должно обеспечить рациональное использование топливно-энергетических и материальных ресурсов, расширенное применение энергосберегающих технологий и оборудования, снижение энерго- и материалоемкости производства, сокращение трудозатрат при производстве машиностроительной продукции, а также эффективную переработку и использование вторичных ресурсов.

Одним из основных направлений развития мобильных машин является экономия ресурсов, в том числе вторичных, и снижение выбросов вредных веществ, которое вписывается в рамки глобальной проблемы снижения концентрации углекислого газа в земной атмосфере. Не менее значимой и актуальной является проблема утилизации транспортных, технологических и других машин, общее количество которых на планете давно превышает миллиард единиц. Поэтому ресурсосбережение является наднациональной проблемой, требующей объединения усилий цивилизованных стран.

Производство промышленной продукции, в том числе продукции машиностроения, является весьма затратным: на него расходуется только треть сырьевых ресурсов, остальные ресурсы утрачиваются в виде отходов производства или побочных продуктов. Поэтому в развитых странах ресурсосбережение уже более четверти века является доминантой развития различных отраслей машиностроения. Как следствие, изменилось отношение к отходам производства, которые превратились в дополнительный источник доходов как материальных, так и энергетических. В результате энергоемкость единицы ВВП в Евросоюзе (ЕС) в четыре раза ниже, чем в странах постсоветского пространства, которые существенно отстают по ресурсосбережению и утилизации отходов.

В значительной степени облегчает разноплановые работы по экономии первичных и вторичных ресурсов унификация требований к сырью, материалам, технологиям, оснастке, которые регламентируют соответствующие стандарты. В упомянутом стандарте (ГОСТ 30166–2014) указано, что ресур-

сосбережение должно быть объектом стандартизации на всех уровнях – от национального до локального (на предприятиях). При этом основной задачей работ по стандартизации требований ресурсосбережения является установление в технической документации на всех этапах жизненного цикла машины обоснованного порядка рационального использования и экономного расходования ресурсов, в том числе вторичных, получаемых из отходов на этих этапах.

При выборе машины для дорожно-строительных и ремонтно-восстановительных работ, при разработке новой или модернизации серийной конструкции, при определении конкурентоспособности машины необходимо знать ее технический уровень. Он характеризуется широким спектром свойств, которые обуславливают пригодность обеспечения безопасности требованиям потребителя. К их числу относят экологическую безопасность, сокращение эксплуатации машины, включая экологическую безопасность, сокращение трудо-, энерго- и материальных затрат при достижении высокого уровня производительности и качества работ, минимизацию стоимости машиносмены и обеспечение требуемого ресурса эксплуатации автомобильных дорог. Перечисленные требования связаны с различными аспектами безопасного функционирования системы «оператор – машина – среда». В целом их можно свести к решению нескольких концептуальных проблем:

- необходимости реализации высокого уровня безопасности эксплуатации машины, в том числе экологической;
- минимизации трудо-, энерго- и материальных затрат при проектировании, изготовлении, эксплуатации и утилизации машины;
- обеспечения высокого качества работ;
- обеспечения высокой производительности работ;
- достижения заданных международными стандартами норм по утилизации и рециклингу машины;
- формирования дизайна машины, отвечающего современным эргономическим и эстетическим представлениям.

В общем случае показатели, определяющие качество и технический уровень машины и отвечающие требованиям потребителей, можно разделить на следующие группы:

- **конструктивные**, которые характеризуют качество и свойства конструкции машины (надежность, безопасность, эргономика, унификация и стандартизация деталей и сборочных единиц и др.);
- **экологические**, учитывающие механическое, физическое и химическое воздействие машины на окружающую среду;
- **эксплуатационные**, отражающие работу машины в производственных условиях (производительность, типоразмер, мобильность, проходимость, универсальность и др.);

– **технические**, связанные с основными техническими параметрами (мощностью, массой, удельной энерго- и материалоемкостью и др.);

– **экономические**, характеризующие эффективность машины по основным экономическим параметрам (стоимость машиностроения, выработка и др.);

– **технологические**, связанные с технологичностью конструктивных решений, т. е. соответствием конструкции машины технологическим требованиям, которые обеспечивают минимальные показатели энергоемкости, материалоемкости, трудоемкости и себестоимости ее изготовления при сохранении необходимых эксплуатационных свойств (в том числе с производственной, эксплуатационной и ремонтной технологичностью конструкции);

– **утилизационные**, которые отражают способность материалов деталей и конструкций к переработке и вторичному использованию после списания машины;

– **патентно-правовые**, характеризующие патентную чистоту и новизну технических решений.

В Беларуси производство дорожно-строительной техники развивается по традиционным направлениям с учетом современных тенденций, характерных для мирового машиностроения. Однако, несмотря на очевидные успехи отечественных машиностроителей на поприще ресурсосбережения, эта проблема сохраняет свою актуальность и в настоящее время. По данным экспертов Минэкономики Беларуси показатели энергоемкости белорусской продукции выше в 1,5–2,0 раза, чем западноевропейской. При этом производительность труда в странах СНГ ниже, чем в странах Евросоюза в 4–5 раз, т. е. удельные показатели энергоемкости отстают еще более значительно.

Обеспечение высокой работоспособности машин в условиях возрастающих требований к продукции машиностроения основано на снижении трудо-, энерго- и материальных затрат при создании и функционировании машин. При этом проблема ресурсосбережения тесно связана с экологической безопасностью новой техники, требования к которой отражены в серии международных стандартов ISO 14000 «Система экологического управления». Эти стандарты регламентируют организацию системы экологического управления и аудита, а также оценку экологической безопасности производства и продукции на всех этапах жизненного цикла машины.

В первой части учебника («Машины для земляных работ», 2021) показаны особенности «конструирования для экологии» (*Design for the Environment*) в рамках концепции полного жизненного цикла (ПЖЦ). Напомним, что в ее основе лежит экологическая безопасность как приоритетное звено взаимосвязи всех этапов ПЖЦ машин, включая их утилизацию. Поэтому при создании и функционировании машин проводят мероприятия (организационные, материаловедческие, конструкторские, технологические и эксплуатационные) для обеспечения как экологической безопасности, так и энергосбережения.

Комплекс показателей, определяющих качество машины и ее технический уровень, закладывается при проектировании, реализуется при изготовлении и поддерживается при эксплуатации машины, т. е. управление этими показателями осуществляется на всех этапах ее жизненного цикла.

В трактовке отечественного стандарта СТБ 1218–2000 «Разработка и постановка продукции на производство» *жизненный цикл* машины – это совокупность взаимосвязанных процессов последовательного изменения состояния машины от формирования исходных требований к ней до утилизации.

Жизненный цикл машины включает следующие этапы:

- маркетинг и формирование требований к разрабатываемой машине;
- научно-исследовательскую работу по определению оптимальных показателей создаваемой машины, а также патентную проработку для оценки патентной чистоты концептуальных технических решений;
- проектирование и конструирование, включая разработку проекта экспериментальной машины, ее изготовление и испытания, внесение изменений в конструкцию и проектирование серийного образца с последующими испытаниями;
- производство машины, в том числе технологическую подготовку производства (сырье, комплектующие изделия, информационно-методическое обеспечение, технологическое оборудование и др.) и выпуск необходимой серии;
- эксплуатацию машины, которая включает комплекс технических обслуживаний, текущих и капитальных ремонтов для поддержания ее работоспособности;
- списание машины и ее утилизацию.

Реализация высокого качества и технического уровня машин возможна только на основе достижений в области материаловедения и технологии материалов, автоматизации и компьютеризации проектирования, изготовления и эксплуатации дорожно-строительной техники. Между тем спектр современных машиностроительных материалов, технологических процессов изготовления из них деталей и конструкций, конструктивных решений и организационных мероприятий весьма обширен.

Стратегия ресурсосбережения при создании и функционировании машин состоит в необходимости учета таких аспектов, как безопасность и надежность, экология и эргономика, энерго- и материалоемкость, технологичность. На этапах жизненного цикла машины, на наш взгляд, целесообразно выделить следующее.

В области маркетинга:

- 1) изучать потребности рынка в разработке новой машины или усовершенствовании известных моделей;
- 2) составлять прогноз развития дорожно-строительной техники с учетом перспективных конструкций приводов, рабочего и ходового оборудования, автоматических систем управления и задач дорожного строительства.

В области патентных исследований:

1) проводить патентный поиск и выявлять наиболее эффективные запатентованные разработки (аналоги), в том числе из смежных областей машиностроения;

2) учитывать патентную чистоту (правовую, техническую и экономическую) используемых технических решений;

3) патентовать новые технические решения, обеспечивающие более высокий уровень потребительских свойств и правовую защиту конструкции машины.

В области научно-исследовательских работ:

1) совершенствовать расчеты деталей, узлов и конструкций с учетом реальных условий эксплуатации машин;

2) моделировать исследования параметров и испытания основных систем проектируемых машин с помощью физического и компьютерного моделирования;

3) подбирать оптимальные сочетания контактирующих материалов и смазочных жидкостей для совершенствования узлов трения и других подвижных сопряжений деталей.

В области материалов:

1) снижать материалоемкость агрегатов и конструкций машин за счет применения:

- конструкционных и триботехнических материалов со стабильными эксплуатационными характеристиками;

- материалов, не требующих дополнительной обработки (доводки) поверхности деталей;

- рециклируемых и рециклированных сплавов и композитов;

- легких материалов с высокими показателями удельной прочности и жесткости, в том числе высокопрочных и высокомодульных композитов и сплавов с использованием наноструктурных компонентов;

- адаптивных агрегатов, способных приспосабливаться к условиям эксплуатации машин.

В области конструкций:

1) последовательно реализовывать принципы конструктивно-технологической преемственности и совершенствовать технологичность конструкции машины;

2) повсеместно использовать активные и пассивные средства защиты от механических, электрических, тепловых, звуковых и иных отрицательных воздействий на обслуживающий персонал и окружающую среду;

3) оснащать машины энергосберегающими системами, обеспечивающими значительное снижение потерь энергии и экономию топлива;

4) совершенствовать системы управления механизмами и агрегатами с помощью бортовых компьютеров и микропроцессорной техники;

5) разрабатывать конструкции, обеспечивающие при утилизации машины простое и удобное разделение различных по природе материалов;

6) предусматривать возможность создания модельного ряда с максимальным использованием конструктивных элементов базовой машины.

При изготовлении:

1) совершенствовать технологические процессы изготовления деталей с целью минимизации образования отходов и их повторного использования;

2) максимально унифицировать элементы конструкций, развивая принципы агрегатирования и блочно-модульной компоновки основных узлов и механизмов машин;

3) использовать методы улучшения и упрочнения углеродистых сталей взамен (по возможности) дорогих легированных сталей;

4) сокращать объемы механической обработки деталей; заменять механическую обработку способами, снижающими до минимума потери металла;

5) предупреждать коррозию деталей и конструкций применением стойких лакокрасочных и гальванических покрытий, изготовлением деталей из коррозионностойких материалов.

При эксплуатации:

1) руководствоваться требованиями отечественных и международных стандартов по безопасности эксплуатации машин, охране труда и окружающей среды;

2) активно внедрять методы автоматизированного управления рабочим циклом машин с применением спутниковых систем;

3) контролировать точное соблюдение периодичности и регламента работ по техническому обслуживанию и ремонту машин в системе ППР;

4) развивать методы технического обслуживания и текущего ремонта по фактическому состоянию машин и их агрегатов;

5) расширять сервисное обслуживание и ремонт на основе технического диагностирования машин.

При утилизации (после списания):

1) руководствоваться требованиями международных, межгосударственных и отечественных стандартов по ресурсосбережению, утилизации и рециклингу машин;

2) обеспечивать точную оценку технического состояния деталей, конструкций и узлов машины для их разделения на группы (реновационные, конверсионные и собственно утилизационные);

3) разрабатывать технологические мероприятия по максимально эффективному восстановлению деталей, узлов и агрегатов машин с учетом особенностей конструкции элементов и свойств их материалов;

4) использовать по возможности экологически безопасные способы утилизации и рециклинга деталей и конструкций в зависимости от природы их материалов (металлов и сплавов, полимерных композитов, других неметаллических материалов).

Концепция рассмотрения машиностроительной продукции в рамках полного жизненного цикла сопровождается ее информационным обеспечением на всех этапах создания и функционирования машин. Эту задачу решают CALS-технологии (*Continuous Acquisition and Lifecycle Support*). CALS представляет собой единую информационную среду всех этапов жизненного цикла продукции, которая дает единообразное представление о конструкции изделий и их характеристиках, технологической оснастке, технологиях производства и обслуживания, ремонта и утилизации.

На этапе маркетинга применяют систему управления взаимоотношениями с заказчиками (*Customer Requirement Management – CRM*), которая включает базу данных о клиентах, партнерах и поставщиках.

На этапе проектирования используют системы автоматизированного проектирования (САПР), которые подразделяют на системы функционального, конструкторского и технологического проектирования.

Функциональные системы автоматизации инженерных расчетов и анализа (*Computer-Aided Engineering – CAE*) представляют собой программные продукты, позволяющие при помощи расчетных методов оценить поведение компьютерной модели изделия в условиях эксплуатации.

Конструкторские системы автоматизированного проектирования (*Computer-Aided Design – CAD*) предназначены для создания электронных чертежей и трехмерных моделей, а также для конструкторской и технологической документации.

Системы технологического проектирования (*Computer-Aided Manufacturing – CAM*) используют для подготовки техпроцесса производства изделий и осуществления автоматизации программирования станочного оборудования с числовым программным управлением.

Для управления проектированием и функционированием всех компонентов САПР используют системы управления данными об изделии (*Product Data Management – PDM*), которые позволяют обрабатывать инженерно-техническую информацию, необходимую на этапах проектирования и производства.

На этапе производства используют автоматизированные системы планирования и управления предприятием, включая разработку производственных процессов, с учетом возможностей предприятия.

Кроме того, имеются системы управления поставками (*Supply Chain Management – SCM*), предназначенные для автоматизации и управления снабжением предприятия.

CALS-технологии включены в международные стандарты серии ИСО 10303 STEP – *Standard for the Exchange of Product Model Data* (Стандарт по обмену данными о продукции).

В Беларуси работы по созданию информационных технологий и программного обеспечения осуществлялись и осуществляются в рамках раз-

личных государственных научно-технических программ, в том числе программы «CALS-технологии». В числе их основных задач:

- создание нормативно-методической базы, регламентирующей электронный обмен данными;
- разработка и внедрение на предприятиях информационных систем, поддерживающих процессы жизненного цикла продукции;
- сокращение объемов опытно-экспериментальных работ, оптимизация технических характеристик изделий, снижение их материало- и энергоемкости;
- обеспечение информационно-технического перевооружения предприятий;
- уменьшение брака в проектировании и производстве;
- сокращение издержек на эксплуатацию и ремонт изделий.

Информационные системы, поддерживающие процессы жизненного цикла продукции, внедрены на основных машиностроительных предприятиях Беларуси (Амкодор, МТЗ, МАЗ, БелАЗ и др.). Во взаимоотношениях между ведущими предприятиями стало нормой требование компьютерного представления (и обмена данными) о поставляемой продукции на всех этапах ее жизненного цикла. Белорусские предприятия в рамках международного сотрудничества, в частности при продаже сложных наукоемких изделий и лицензий на их производство, также соблюдают требования стандартов CALS применительно к поставляемой с изделием технической документации в электронной форме. Компьютерная информационная поддержка должна быть обеспечена и для процессов технического обслуживания, материально-технического снабжения, заказа запасных частей и ремонта.

Напомним, что утилизация как заключительный этап жизненного цикла машин предполагает демонтаж (разборку) машины, сортировку материалов, деталей и конструкций, диагностирование технического состояния деталей и конструкций, а также последующую переработку пригодных для этого материалов. Отметим очень жесткие требования по эффективности утилизации машин в цивилизованном мире. В Евросоюзе уже несколько лет (с 2015 г.) автотранспортные средства должны утилизироваться не менее чем на 95 мас. % путем рециклинга материалов и повторного использования отдельных агрегатов, узлов и деталей, а также сжигания отходов (с регенерацией энергии). При этом на повторное использование должно идти не менее 85 % массы машины, только 10 % могут быть термически переработаны (т. е. превращены в энергию) и всего 5 % могут подлежать захоронению.

Различают отходы производства и отходы потребления.

Отходы производства – это остатки сырья и материалов, образовавшиеся при производстве машиностроительной продукции и частично утратившие исходные потребительские свойства.

Отходы потребления – это составные части машин (детали, агрегаты, узлы и конструкции), а также материалы (эксплуатационные, защитно-декоративные и др.), частично или полностью утратившие свои потребительские свойства в результате физического старения.

Необходимость утилизации машин связана с загрязнением окружающей среды (почвы, воды, воздуха) и, в конечном счете, с экологической безопасностью. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что отсутствие системного подхода к организации сбора и переработки вторичных ресурсов транспортного комплекса влечет за собой экологические и экономические проблемы. Напомним цифры, свидетельствующие о масштабах этих проблем: мировой парк только автотранспортных средств составляет около миллиарда единиц техники при ежегодном выводе из эксплуатации 40–50 миллионов машин. При этом для изготовления 1 т деталей и сборочных единиц, используемых в машине, требуется переработать около 150 т природного сырья, т. е. из каждой тонны сырья в ней остается менее 1 %.

Утилизация дорожно-строительных машин имеет свои особенности и требует значительно больших затрат по сравнению с автотранспортными средствами. Это связано, во-первых, с многообразием машин различного назначения, предназначенных для выполнения широкого спектра работ по строительству, реконструкции, ремонту и содержанию автомобильных дорог; во-вторых, с наличием типоразмерных рядов, состоящих из машин различной производительности; в-третьих, с габаритами, разнообразием конструкций трансмиссий, систем управления, агрегатов, механизмов и рабочего оборудования (ковшей, рукоятей, стрел, отвалов, брусев, рам, фрезерных и других барабанов и т. п.); в-четвертых, с оснащением многих машин гусеничным ходовым оборудованием.

Один пример: вместимость бака с рабочей жидкостью автотранспортного средства составляет 8–12 л, а одноковшового экскаватора – примерно 400 л при утечке и потерях масел на угар в сотни раз больше, чем автомобиля. Соответственно, специфика конструкции такой техники часто требует особого, зачастую индивидуального подхода к ее утилизации.

Эффективность утилизации машины по окончании срока ее эксплуатации является основой всех мероприятий по обеспечению ресурсосбережения и экологической безопасности на всех этапах жизненного цикла. Однако согласно стандарту СТБ 1218–2000 утилизировать необходимо не только машины и их составные части после списания, но и отходы, образующиеся на всех предшествующих этапах. На этапе разработки проектно-конструкторской документации – это отработанные модели и макеты, расходные материалы и отработавшие свой ресурс комплектующие изделия; на этапе производства – отходы производства, бракованная продукция и комплектующие изделия, а также оснастка, оборудование и инструмент, отработавшие свой ресурс; на этапе эксплуатации – отходы потребления (выявленные после техобслуживания или ремонта дефектные агрегаты, узлы и детали машин, отработанные эксплуатационные материалы и проч.).

При списании машин разрабатывают и реализуют систему их переработки, а также рециклинга материалов. Эта система включает комплекс органи-

зационных, технических и технологических мероприятий, в том числе оценку технического состояния составных частей машины, по результатам которой их разделяют на три группы. Их принято именовать *реновационной*, *конверсионной* и собственно *утилизационной* группами. Будем придерживаться такой же терминологии.

На рисунке 12.1 представлена схема утилизации машины и рециклинга материалов после ее списания.



Рисунок 12.1 – Структурная схема утилизации машины после списания

В первую *реновационную* (от лат. *renovatio* – обновление, возобновление) группу входят конструкции, узлы и детали, которые технически и экономически выгодно восстанавливать для продления их ресурса или реанимации потребительских свойств, а также для дальнейшего использования в рамках их первичного функционального назначения (в том числе в качестве запчастей).

Во вторую *конверсионную* (от лат. *conversio* – превращение, обращение), группу включают конструкции, узлы и детали, которые невозможно

восстановить до уровня реновационной группы из-за их технического состояния (выработки ресурса, степени износа, наличия коррозионных повреждений и др.). После доработки их используют в других отраслях (но не в машиностроении) для изготовления изделий менее ответственного назначения.

В третью, собственно *утилизационную* (от лат. *utilis* – полезный) группу входят невосстанавливаемые составные части машин (агрегаты, узлы, конструкции и детали), т. е. такие объекты, восстановление которых до исходного состояния невозможно или нецелесообразно по экономическим соображениям. Поэтому после разборки машин их выбракованные части (детали, конструкции, узлы и др.) перерабатывают для получения из них материалов – вторичного сырья – для дальнейшего употребления.

Многолетняя статистика отказов деталей и узлов машин подтверждает рентабельность их восстановления и доработки: у подавляющего большинства машин, поступающих в капитальный ремонт, 20 % пригодны для дальнейшей работы без восстановления, 60 % можно восстановить до номинальных параметров, и только 20 % деталей подлежат выбраковке и утилизации. Вместе с тем затраты на восстановление деталей составляют не более 30–50 % от стоимости новых деталей. Примерно такая же статистика имеет место по отработанным деталям и узлам машин после их списания.

При этом материалы различного назначения – конструкционные, триботехнические, защитно-декоративные, эксплуатационные и другие (черные, цветные и редкие металлы и сплавы, полимеры и композиты на их основе, резина и дерево, кожа и кожзаменители, герметики и лакокрасочные материалы, стекло и керамика), а также технические жидкости (антифриз, электролит, смазочные материалы и т. п.) перерабатывают с различной степенью эффективности в зависимости от их природы и технических возможностей предприятия по переработке. Например, лом черных металлов в последующем повсеместно используют для изготовления деталей и конструкций машиностроительного назначения. Лом цветных металлов также находит широкое применение в продукции машиностроения.

Наибольшие трудности для утилизации представляют многие неметаллические материалы, а также эксплуатационные жидкости, которые невыгодно перерабатывать для получения вторсырья, что вынуждает их устранять различными способами.

В этой группе осуществляют три вида обработки отходов: *сжигание, захоронение и переработка*.

Выбор и реализация метода устранения отходов зависят от уровня развития предприятий по выпуску машиностроительной продукции и сопутствующих им производств по переработке отходов. Строго говоря, сжигание, захоронение и другие способы уничтожения отходов утилизацией не являются, что отмечено в упомянутом стандарте СТБ 1218–2000. Однако,

поскольку отсутствует абсолютно экологически чистая и безотходная технология утилизации машин, до сих пор имеется необходимость сжигания и захоронения не перерабатываемых материалов. Нередко эти виды уничтожения отходов называют *примитивной утилизацией*.

Сжигание отходов используют для обезвреживания и утилизации бытовых и промышленных отходов во всех агрегатных состояниях (в твердом, жидком и газообразном). В странах ЕС сжигают в основном бытовые отходы (примерно 20–25 % от общего количества твердых бытовых отходов). Что касается твердых промышленных отходов, то их перерабатывают сжиганием только в тех случаях, когда невозможно или нерентабельно перерабатывать другими методами. Для этих целей используют более 400 мусоросжигательных заводов с годовой производительностью 60–500 тыс. т. При этом современные технологии сжигания отходов и очистки выбросов от токсичных веществ позволяют снизить риски загрязнения окружающей среды до уровня, который разрешен европейским законодательством.

Захоронение является одним из наиболее распространенных методов обработки отходов для стран с малоразвитой системой их утилизации. Это обусловлено экономическими причинами: захоронение отходов обходится производителям на порядок дешевле их утилизации. В частности, в РФ захоронение оценивают в среднем в 300 руб./т, сортировку отходов – в 1200, а утилизацию – в 3000 руб./т. Между тем в указанной стоимости захоронения в странах СНГ не учитывают затраты на проектирование и строительство инженерных сооружений и рекультивацию земель, которые должны обеспечить безопасность этих захоронений. В цивилизованных странах всё это рассчитывают, поэтому от захоронения отходов там практически отказались, увеличив объемы их переработки и сжигания.

Для безопасного захоронения отходов вторичной переработки используют химическую обработку для изменения их агрегатного состояния (например, для перевода жидких отходов, способных просачиваться в грунт, в твердые), а также нейтрализацию или дезактивацию токсичных отходов.

Переработка вторичного сырья обеспечивает значительное сокращение материальных, энергетических и трудовых затрат на производство продукции машиностроения. Ликвидационная стоимость машины (т. е. стоимость деталей и конструкций, не годных к дальнейшему использованию) практически равна стоимости бывших в употреблении материалов, из которых изготовлены эти детали и конструкции. Чтобы их вторичная переработка была рентабельной, выбирают такие модифицирующие компоненты, составы и технологию переработки, чтобы стоимость изделий из вторичного продукта не превышала стоимость изделий из первичных материалов.

В индустриальных странах переработка отходов производства и потребления стала самостоятельной и эффективной отраслью промышленности. Предприятия по переработке вторичного сырья располагают технологиями

для оценки пригодности к рециклированию отработанных материалов, методами и средствами для их идентификации и сортировки, а также оборудованием для экологически безопасной переработки вторичного сырья. Так, в США переработка отходов производства и потребления во вторичное сырье становится самым дешевым способом их утилизации, поскольку организация новых открытых свалок запрещена, а захоронение и сжигание отходов с учетом соблюдения всех экологических норм обходится в три раза дороже, чем их переработка.

Организация и развитие производства по промышленной переработке вторсырья черных, цветных и редких металлов является весьма актуальной задачей для Беларуси при наличии имеющейся инфраструктуры машиностроительного комплекса (более 130 предприятий автомобиле- и тракторостроения, дорожно-строительного и коммунального машиностроения и проч.), требующего импорта многих металлов и сплавов. При этом в стране имеются значительные резервы отработанных и списанных машин и механизмов, полная переработка которых может дать значительный экономический и экологический эффект. В настоящее время в промышленных масштабах утилизируют детали и конструкции из черных металлов и сплавов, лом которых перерабатывают на Белорусском металлургическом заводе с учетом требований, регламентированных стандартом СТБ 2026–2010 «Металлы черные вторичные. Общие технические условия». Между тем до недавнего времени БМЗ закупал металлолом в РФ, а большую часть металлоотходов отечественных предприятий скупали европейские потребители. В настоящее время вторсырье предприятий металлообработки в основном перерабатывают в Беларуси. Тем не менее резервы по использованию металлолома черных металлов остаются весьма внушительными: на отечественных предприятиях ежегодно образуется до 250–300 тыс. т стружки и окаины черных металлов.

Переработка цветного металлолома – также трудоемкий процесс, требующий специального оборудования и тщательной предварительной сортировки сырья. В Беларуси она находится на стадии активных лабораторных исследований и отработки полученных результатов в производственных условиях. В частности, накоплен опыт рециклинга алюминиевых сплавов, который позволяет получать вторичные сплавы, не уступающие по свойствам первичным аналогам. При сборе и переработке цветных металлов и сплавов руководствуются требованиями стандарта ГОСТ 1639–78 (ГОСТ 1639–2009) «Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие технические условия». Между тем при использовании современных линий сепарации и измельчения (например, шредерных установок фирм «Metso Lindemann», «Henschel», «Lynx» и др.) качество лома приводят в соответствие с существующими стандартами (по составу, степени чистоты, плотности, предельному содержанию легирующих элементов и др.). Как результат – отсутствие больших

различий в качестве первичных и вторичных цветных металлов (меди, алюминия и др.).

Ведутся также исследовательские работы по переработке и применению вторичных полимерных материалов. Утилизация полимерного вторсырья является весьма сложным процессом, что обусловлено рядом причин. Во-первых, переработка полимеров сопровождается их деструкцией (термической, физико-химической или механической), что вызывает значительное снижение свойств переработанных материалов; во-вторых, из-за высокой химической стойкости большинства полимеров необходимы дорогостоящие физико-химические методы их утилизации; в-третьих, в каждой единице техники применяют до десяти различных полимеров, каждый из которых требует своего подхода к переработке, что еще более усложняет их утилизацию. Поэтому рециклирование полимерных отходов и особенно отходов полимерных композитов пока не позволяет получать изделия из них с высоким уровнем эксплуатационных свойств и использовать по прежнему назначению. В большинстве случаев рециклированные полимерные отходы применяют для изготовления малоответственных изделий, не связанных с машиностроением.

В свое время активно велись исследования в области создания саморазрушающихся полимеров – био-, фото- и водоразлагаемых. Однако это направление не получило развития из-за значительных трудностей в реализации одновременно высоких физико-механических характеристик, способности к быстрому разрушению и низкой стоимости полимерных материалов.

В продукции машиностроения, в том числе в автотранспортных средствах, используют термoplastичные и термореактивные полимеры. Выбор метода переработки деталей и конструкций машин, изготовленных из полимерных материалов, зависит от природы и состава полимера, а также от наличия армирующих компонентов. Как правило, переработка полимерного вторсырья в материалы и изделия состоит в механическом рециклинге (т. е. в дроблении отходов) и последующих операциях с этими отходами. Если их переработка невозможна или экономически невыгодна, используют способ сжигания полимерных отходов для получения энергии. В частности, на топливо идут мелкие полимерные детали, разборка которых является трудоемким процессом.

В Беларуси развивается отечественная программа утилизации транспорта, которая опирается на зарубежный опыт, имеющий значительные достижения в этой области. В частности, в Евросоюзе ежегодно перерабатывается до 10 млн единиц автотранспортных средств и машин, в Японии ежегодно утилизируется более 5 млн машин. Постановлением Совмина (от 01.07.2019 № 437) «Об утилизации транспортных средств» регламентирован порядок сбора, хранения и утилизации транспортных средств на территории страны, включая обеспечение условий безопасного обращения с отходами, образовавшимися в результате утраты транспортными средствами потребительских свойств.

В целом проблема ресурсосбережения отечественной мобильной техники является более глобальной и включает несколько самостоятельных направлений. В их числе поиск и анализ способов рационального использования материальных и нематериальных ресурсов; расширенное применение ресурсосберегающих процессов; снижение энерго- и материалоемкости производства; сокращение трудозатрат при производстве машиностроительной продукции; повышение качества и технического уровня продукции машиностроения.

Современное состояние отечественного машиностроения в области транспортно-технологических (дорожно-строительных, строительных, подъемно-транспортных и др.) машин характеризуется необходимостью существенного роста их качества и потребительских свойств. Решение этих задач, а также проблем, связанных с ресурсосбережением и экологической безопасностью, отражено в планах отечественной концепции развития науки и техники. Реализация государственных научно-технических программ по созданию наукоемкой продукции машиностроения может и должна способствовать значительному повышению конкурентоспособности и увеличению экспорта отечественной техники. Во всех областях науки, отвечающих за создание высококачественных мобильных машин, намечены организационные, материаловедческие, конструкторские и технологические мероприятия, которые способствуют решению этих проблем. Соответственно, одна из основных задач, стоящих перед новоиспеченными (по окончании учебы) специалистами в области технической эксплуатации дорожно-строительных машин, — успешно реализовать намеченные планы.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите и прокомментируйте этапы жизненного цикла машин.
- 2 Какие показатели определяют качество и технический уровень машины?
- 3 Что лежит в основе концепции полного жизненного цикла машин?
- 4 Какие материалы снижают материалоемкость машиностроительной продукции?
- 5 Назовите и прокомментируйте основные направления ресурсосбережения в машиностроении.
- 6 Какие мероприятия способствуют ресурсосбережению на этапах конструирования, изготовления, эксплуатации и утилизации?
- 7 Что такое CALS-технологии и что дает их применение в отечественном машиностроении?
- 8 Назовите и обоснуйте значимость мероприятий по утилизации машин и их составных частей.
- 9 В чем состоят достоинства переработки вторичных ресурсов, т. е. отходов производства?
- 10 В каких случаях используют сжигание и захоронение твердых отходов машиностроительного производства?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Автомобильные дороги Беларуси : энцикл. / под общ. ред. А. В. Минина. — Минск : БелЭн, 2002. — 672 с.
- 2 Баловнев, В. И. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог : учеб. / В. И. Баловнев, В. И. Мещеряков, М. А. Беляев. — М.—Омск : Омский дом печати, 2005. — 768 с.
- 3 Баловнев, В. И. Многоцелевые дорожно-строительные и технологические машины : учеб. пособие / В. И. Баловнев. — Омск—М. : Омский дом печати, 2006. — 320 с.
- 4 Баловнев, В. И. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве : учеб. пособие / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. — М. : Транспорт, 1993. — 393 с.
- 5 Васильев, А. А. Дорожные машины : учеб. пособие / А. А. Васильев. — М. : Машиностроение, 1987. — 416 с.
- 6 Добронравов, С. С. Строительные машины и основы автоматизации : учеб. пособие / С. С. Добронравов, В. Г. Дронов. — М. : Высш. шк., 2003. — 575 с.
- 7 Добронравов, С. С. Строительные машины и оборудование : справ. / С. С. Добронравов, М. С. Добронравов. — М. : Высш. шк., 2006. — 445 с.
- 8 Довгяло, В. А. Дорожно-строительные машины : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. II : Машины для устройства и ремонта дорожных покрытий / В. А. Довгяло, Д. И. Бочкарев. — Гомель : БелГУТ, 2014. — 385 с.
- 9 Довгяло, В. А. Машины и оборудование для содержания автомобильных дорог : учеб. пособие / В. А. Довгяло. — Гомель : БелГУТ, 2017. — 253 с.
- 10 Дорожно-строительные машины и комплексы : учеб. пособие / В. И. Баловнев [и др.]. — М. — Омск : Изд-во СибАДИ, 2001. — 528 с.
- 11 Дорожно-строительные машины : учеб. пособие / А. В. Вавилов [и др.]. — Минск : Технопринт, 2000. — 515 с.
- 12 Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет : учеб. / под ред. Н. Я. Харкуты. — М. : Машиностроение, 1976. — 468 с.
- 13 Доценко, А. И. Строительные машины : учеб. / А. И. Доценко, В. Г. Дронов. — М. : ИНФРА-М, 2012. — 533 с.
- 14 Карабан, Г. Л. Машины для содержания и ремонта автомобильных дорог и аэродромов : учеб. пособие / Г. Л. Карабан, В. И. Баловнев, И. А. Засов. — М. : Машиностроение, 1975. — 368 с.
- 15 Строительные, дорожные и коммунальные машины. Оборудование для производства строительных материалов. Т. IV-9 / И. П. Ксеневич [и др.] : под общ. ред.

И. П. Ксеновича // Машиностроение : эцикл. / ред. совет: К. В. Фролов [и др.]. – М. : Машиностроение. – 2005. – 736 с.

16 Машины для земляных работ : учеб. / А. И. Доценко [и др.]. – М. : БАСТЕТ, 2012. – 688 с.

17 Раннев, А. В. Устройство и эксплуатация дорожно-строительных машин : учеб. пособие / А. В. Раннев, М. Д. Полосин. – М. : Академия, 2010. – 488 с.

18 Справочник конструктора дорожных машин / под ред. И. П. Бородачева. – М. : Машиностроение, 1973. – 503 с.

19 Теория, конструкция и расчет строительных и дорожных машин : учеб. / под ред. Л. А. Гобермана. – М. : Машиностроение, 1988. – 407 с.

20 Тюрин, Н. А. Дорожно-строительные материалы и машины : учеб. пособие / Н. А. Тюрин, Г. А. Бессараб, В. Н. Язов. – М. : Академия, 2009. – 304 с.

21 Шестопапов, К. К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование : учеб. / К. К. Шестопапов. – М. : Академия, 2012. – 320 с.

22 Шестопапов, К. К. Строительные и дорожные машины : учеб. / К. К. Шестопапов. – М. : Академия, 2008. – 384 с.

Учебное издание

ДОВГЯЛО Владимир Александрович
БОЧКАРЕВ Дмитрий Игоревич

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Часть 2

МАШИНЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВА
И РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Учебник

Редактор А. А. Павлюченкова
Технический редактор В. Н. Кучерова
Корректор Т. А. Пугач

Подписано в печать 11.07.2022 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 27,9. Уч.-изд. л. 26,67. Тираж 150 экз.
Зак. № 1279. Изд. № 56.

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, Гомель