

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Детали машин, путевые и строительные машины»**

**В. А. ДОВГЯЛО**

**МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ  
ДОРОГ**

**Гомель 2016**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Детали машин, путевые и строительные машины»

В. А. ДОВГЯЛО

# МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего  
образования по специальности  
«Техническая эксплуатация погрузочно-разгрузочных, путевых,  
дорожно-строительных машин и оборудования»*

Гомель 2016

УДК 625.08 (075.8)  
ББК 39.311-06-5  
Д58

Рецензенты: зав. кафедрой «Строительные и дорожные машины»  
Белорусского национального технического университета  
Иностранный член РААСН, доктор технических наук,  
профессор Вавилов А. В.;

кафедра «Транспортные и технологические машины»  
Белорусско-Российского университета (зав. кафедрой  
кандидат технических наук, доцент Лесковец И. В.)

**Довгяло, В. А.**

Д58 Машины и оборудование для содержания автомобильных дорог:  
учеб. пособие / В. А. Довгяло; М-во трансп. и коммуникаций Респ.  
Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 288 с.  
ISBN 978-985-468-741-4

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. Приведены их технические характеристики, конструкции, рабочие органы, приводы, узлы и агрегаты. Для каждой группы машин предложены методики расчета основных параметров. Отдельно рассмотрены транспортные средства, которые применяют при строительстве, реконструкции и содержании дорог в качестве базовых и тяговых машин. Проанализированы различные аспекты ресурсосбережения на этапах полного жизненного цикла дорожных машин.

Предназначено для студентов специальности 1-37 02 03 «Техническая эксплуатация погрузочно-разгрузочных, путевых, дорожно-строительных машин и оборудования» и других специальностей, связанных с эксплуатацией дорожных машин, а также для магистрантов и слушателей курсов повышения квалификации.

**УДК 625.08 (075.8)**  
**ББК 39.311-06-5**

**ISBN 978-985-468-740-7**  
**ISBN 978-985-468-741-4**

© Довгяло В. А., 2016  
© Оформление. УО «БелГУТ», 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
1 Базовые транспортные средства.....	8
1.1 Силовое оборудование и трансмиссии.....	8
1.2 Тракторы.....	32
1.3 Пневмоколесные тягачи и самоходные шасси.....	43
1.4 Специальные самоходные шасси.....	47
1.5 Автомобильные шасси.....	58
2 Машины и оборудование для летнего содержания автомобильных и городских дорог.....	67
2.1 Особенности технологических процессов.....	67
2.2 Поливомоечные машины.....	68
2.3 Подметально-уборочные машины.....	81
2.4 Техника для ухода за зелеными насаждениями.....	100
2.4.1 Оборудование для формирования газонов.....	100
2.4.2 Опрыскиватели для защиты насаждений от вредителей.....	102
2.4.3 Косилки.....	106
2.4.4 Оборудование для посадки кустарника и деревьев.....	119
2.4.5 Оборудование для пересадки деревьев.....	124
2.4.6 Машины для переработки древесных отходов.....	126
2.5 Оборудование для устройства и укрепления обочин.....	130
2.6 Машины для разметки дорог и улиц.....	132
3 Машины и оборудование для зимнего содержания автомобильных и городских дорог.....	147
3.1 Особенности технологических процессов.....	147
3.2 Плужные снегоочистители.....	150
3.3 Роторные снегоочистители.....	163
3.4 Снегопогрузочные машины.....	181
3.5 Малогабаритные снегоуборочные машины.....	196
3.6 Скальватели льда и уплотненного снега.....	200
3.7 Распределители противогололедных материалов.....	211
4 Ресурсосбережение на этапах жизненного цикла машин.....	222
4.1 Материалы с комплексами особых свойств.....	223
4.2 Технологическая рациональность конструктивных решений.....	240
4.3 Гибридные приводы, адаптивные и рекуперативные системы.....	247
4.4 Развитие методов стандартизации и унификации.....	260
4.5 Информационное обеспечение жизненного цикла.....	272
4.6 Утилизация машин и рециклинг материалов.....	175
Список литературы.....	283



## ВВЕДЕНИЕ

Автомобильные дороги Беларуси являются национальным достоянием и во многом способствуют ее экономическому развитию. Они играют преобладающую роль в обеспечении перевозки грузов по стране: доля автомобильного транспорта в общем объеме перевозимых грузов превышает 75 %. При этом географическое расположение Беларуси, которая находится в центре Европы между странами Запада и Востока, обуславливает существенный вклад транзитной составляющей грузопотоков на отечественных автомобильных дорогах.

Обеспечение безопасного и бесперебойного движения по дорогам с максимально разрешенными скоростями и нагрузками зависит от их систематического содержания в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. Оно состоит в постоянном уходе и сохранении технико-эксплуатационных характеристик дорожной одежды и дорожной обстановки.

Надежная эксплуатация автомобильных дорог осуществляется проведением работ по их летнему и зимнему содержанию, которые производятся в основном специализированными дорожными машинами или комплектами машин, объединенными решением требуемой технологической задачи. Темпы, эффективность и качество этих работ определяются многими факторами, в числе которых технико-экономические и эксплуатационные показатели каждой используемой машины, рациональное сочетание машин и взаимная согласованность их индивидуальных особенностей, а также уровень организации работ, базирующийся на принципах комплексной механизации и автоматизации.

Основная задача работ по содержанию дорог – это обеспечение безопасных условий движения автотранспорта в любое время года и при любых погодных условиях, а также сохранение на требуемом уровне технико-эксплуатационных показателей дорожных покрытий. Систематическое содержание дорог и улиц поддерживает их санитарное состояние, увеличивает срок службы дорожной одежды, снижает себестоимость перевозок и обеспечивает круглосуточное безопасное и удобное передвижение автотранспортных средств в любое время года с разрешенными скоростями и нагрузками.

Необходимость тщательной и постоянной очистки дорожных покрытий обусловлена также абразивными и агрессивными (химически активными) свойствами некоторых компонентов загрязнений (смета), состав которых зависит от времени года. Они не только снижают безопасность движения транспортных средств, но и способствуют ускоренному изнашиванию

верхнего слоя дорожных покрытий. Поэтому мероприятия по содержанию дорог и улиц должны учитывать следующие факторы:

1) обеспечение заданного коэффициента сцепления колесного движителя с покрытием дороги;

2) сохранение технико-экономических характеристик автотранспортных средств, в том числе технического состояния двигателя, ходовой и тормозной систем;

3) сохранение ровности и других технико-эксплуатационных характеристик дорожных покрытий.

Содержание дорог и улиц представляет собой комплекс различных организационных и технологических операций, зависящих от времени года и наличия специализированной техники.

Летнее содержание автомобильных дорог включает широкий спектр разноплановых работ по содержанию земляного полотна, дорожной одежды и дорожной обстановки. Летнее содержание городских дорог и улиц состоит в основном в очистке проезжей части от различных загрязнений, снижении запыленности и предохранении от перегрева.

Зимнее содержание автомобильных и городских дорог включает работы по очистке от снега проезжей части, перекрестков, переходов и тротуаров, уборку снега, устранение гололеда и скользкости за счет обработки проезжей части и тротуаров противогололедными материалами.

Конструкции и параметры машин и оборудования определяются особенностями каждой из приведенных технологических операций.

Для летнего и зимнего содержания дорог используют универсальные (комбинированные) и специализированные машины, а также вспомогательное (навесное или прицепное) оборудование, агрегируемое с автотранспортными средствами. Машины должны обеспечить высокое качество работ при оптимальном темпе их производства, сокращение трудо-, энерго- и материальных затрат и достижение требуемого уровня экологической безопасности дорожных работ. В настоящее время отечественные организации используют машины отечественного и зарубежного производства, которые различаются уровнем автоматизации, конструктивными, технико-эксплуатационными и технологическими характеристиками. Между тем, успехи белорусских машиностроителей по выпуску машин и оборудования для содержания дорог позволяют надеяться на обеспечение комплексной механизации дорожных работ с более существенной долей белорусской техники. Для этого наши крупные производители машин («Амкодор», «МТЗ», «МАЗ», «БелАЗ», ранее «МоАЗ» и др.) решают несколько задач: разрабатывают и изготавливают модельные ряды однотипных машин с широким диапазоном изменения их главного параметра; на базе ранее разработанных конструкций расширяют номенклатуру машин, обеспечивающих комплексную механизацию дорожных работ; разрабатывают и изготавливают различные виды

навесного, прицепного и другого сменного оборудования; производят основные комплектующие изделия, в том числе импортозамещающие.

Решающим фактором выбора технологии содержания автомобильных и городских дорог, а также машин для ее реализации является ресурсосбережение в сочетании с экологической безопасностью. Как известно, ресурсосбережение включает три основных направления применительно к изготовлению и эксплуатации машин. Во-первых, это снижение материалоемкости (в основном металлоемкости) при конструировании машин, во-вторых, уменьшение энергопотребления при эксплуатации и, в-третьих, снижение трудозатрат при изготовлении и эксплуатации машин. Количественно ресурсосбережение характеризуют снижением удельных показателей материало-, энерго- и трудоемкости.

*Удельная материалоемкость машины* – это отношение ее массы к эксплуатационной (сменной) производительности:

$$m_{уд} = m / П_э,$$

где  $m$  – масса машины.

*Удельная энергоемкость машины* (или удельная мощность) – это отношение суммарной мощности установленных на машине двигателей к эксплуатационной (сменной) производительности:

$$N_{уд} = N / П_э,$$

где  $N$  – мощность двигателей.

*Себестоимость единицы продукции* (или механизированных работ) – это отношение стоимости машино-смены (т.е. суммы затрат по эксплуатации машины за смену) к эксплуатационной (сменной) производительности:

$$C_{уд} = C / П_э,$$

где  $C$  – стоимость машино-смены.

Общей целью оценки экологической совместимости машин с окружающей средой является улучшение экологических показателей машин или их отдельных узлов, в частности, за счет применения новых конструктивных решений, материалов и ресурсосберегающих технологий. Помимо этого, на практике часто возникает необходимость определения влияния модернизации машины на ее экологические показатели. Такие оценки позволяют сопоставить различные варианты конструкции машин, существенно отличающиеся друг от друга (например, машины с различными силовыми установками – дизельной, бензиновой, гибридной; транспортные средства в двух-, трех- или четырехосном исполнении и др.).

Оценка экологического ущерба, наносимого окружающей среде вредными выбросами, может быть использована для обоснования выбора наиболее целесообразных методов улучшения экологических показателей машин и их составных частей. Так, например, уменьшение расхода топлива и выброса вредных веществ машиной в условиях эксплуатации может быть достигнуто уменьшением ее массы, снижением сопротивления движению, улучшением технических показателей и повышением КПД двигателя и трансмиссий.

Вполне очевидно, что проблема ресурсосбережения в сочетании с экологической безопасностью машиностроительной продукции имеет глобальный характер и требует значительных усилий для ее решения, в том числе и будущих инженеров-механиков, специальность которых связана с проектированием, модернизацией и эксплуатацией дорожных, строительных, подъемно-транспортных и других машин.

В учебном пособии В. А. Довгяло и Д. И. Бочкарева «Дорожно-строительные машины» (Ч. I: Машины для земляных работ. – Гомель: БелГУТ, 2010. – 250 с; Ч. II: Машины для устройства и ремонта дорожных покрытий. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 385 с) были рассмотрены машины для подготовки земляного полотна, строительства и ремонта автомобильных дорог.

В данном пособии представлена информация о машинах и оборудовании для содержания автомобильных и городских дорог. Следует отметить, что значительные различия этих машин в принципах действия, назначении и конструктивном исполнении не позволяют дать их подробное описание и детальные расчеты в ограниченном по объему пособии. Поэтому в нем приведены сведения только о машинах, которые используют в Беларуси для летнего и зимнего содержания дорог и улиц, включая их основные технические и эксплуатационные характеристики, особенности конструкции и расчетов основных параметров.

Как известно, для упрощения поиска и выбора необходимых машин используют их индексацию. На постсоветском пространстве производители машин применяют, как правило, индексацию, которая состоит из буквенной и цифровой частей: буквенная обозначает наименование предприятия-изготовителя или назначение машины, цифровая – основную характеристику машины или номер модели. В некоторых случаях до сих пор используют индексацию, оставшуюся с советских времен, которая также состоит из буквенной и цифровой частей. Машины для содержания, эксплуатации и ремонта автомобильных дорог обозначают индексом ДЭ. Цифровая часть индекса обозначает номер модели.

Автор надеется, что учебное пособие поможет студентам, магистрантам и аспирантам, а также слушателям курсов повышения квалификации получить необходимую информацию о технических

возможностях машин и оборудования с целью их эффективного использования при эксплуатации автомобильных и городских дорог.

## 1 БАЗОВЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

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

Транспортные средства целесообразно классифицировать по следующим признакам:

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

*Несущие* транспортные 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 транспортных средств, оснащенные прицепным или полуприцепным рабочим оборудованием для дорожных или других работ и выполняющие транспортные операции.

### 1.1 Силовое оборудование и трансмиссии

Каждое самоходное транспортное средство содержит силовую установку (двигатель), трансмиссию, ходовое устройство, систему управления, гидросистему, рабочее и вспомогательное оборудование.

Двигатель, трансмиссия и система управления составляют *привод*, который обеспечивает действие исполнительных механизмов (ходового устройства, поворотного механизма, рабочего и вспомогательного оборудования). В приводах базовых машин в качестве силовых установок используют двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Они могут передавать свою механическую энергию исполнительным механизмам без ее преобразования и с преобразованием в другой вид энергии.

*Силовая установка* мобильных машин может состоять только из первичного двигателя (ДВС) или содержать первичный и вторичный двигатели (ДВС и гидронасос, ДВС и электрогенератор, ДВС и компрессор). Вторичный двигатель (гидронасос, электрогенератор или компрессор) преобразует механическую энергию ДВС в энергию потока жидкости, электрического тока или сжатого воздуха. Сочетание ДВС с вторичным двигателем составляет *комбинированную силовую установку*.

*Трансмиссия* представляет собой систему устройств для передачи движения и преобразования энергии от силовой установки к исполнительным механизмам машины. Ее вход соединен с силовой установкой, выход – с исполнительным механизмом.

Основой любой трансмиссии являются *передачи* – устройства, предназначенные для передачи движения и изменения крутящих моментов, усилий и скоростей. Передачи могут быть *механическими, гидравлическими (гидрообъемными и гидродинамическими), электрическими и пневматическими*.

*Силовые трансмиссии* в зависимости от типа передач могут быть чисто *механическими* или *комбинированными*, сочетающими механические передачи с гидравлическими, электрическими, гидроэлектрическими и другими. Комбинированные трансмиссии называют по наименованию всех составляющих их силовых передач – *гидромеханическими, гидротромеханическими, гидроэлектромеханическими* и т.п.

*Приводы* принято называть по наименованию *основной передачи*, которая передает исполнительным механизмам механическую энергию ДВС без преобразования или преобразует ее в энергию потока жидкости, электрического тока или сжатого газа. В зависимости от схемы преобразования энергии двигателя традиционно различают *механические, гидравлические, электрические и пневматические приводы*.

Соответственно, в *механическом приводе* механическая энергия двигателя не преобразуется и передается исполнительным механизмам (ходовому устройству, рабочему и вспомогательному оборудованию) при помощи системы механических передач.

*Гидравлический привод* в общем виде включает силовую установку (ДВС), гидropередачи, механические передачи, систему управления и вспомогательные устройства. Гидropередачи могут быть двух видов: *гидрообъемными (гидростатическими) и гидродинамическими*.

*Гидрообъемная передача* состоит из двух гидромашин: насоса (входного звена) и гидродвигателя (выходного звена) с соединительными трубопроводами. В ней механическая энергия ДВС преобразуется в энергию потока жидкости под давлением (при помощи гидронасоса), которая затем опять трансформируется в механическую энергию (при помощи гидродвигателя вращательного или возвратно-поступательного действия) и

передается исполнительным механизмам. Взаимодействие рабочего органа гидромашин с рабочей жидкостью происходит в герметичной рабочей камере, попеременно сообщаемой с ее входом и выходом. При этом именно *статическое давление* жидкости при взаимодействии с рабочим органом (вытеснителем) является определяющим фактором рабочего процесса.

Часто привод, в котором источником энергии жидкости является объемный насос, называют *насосным гидроприводом*.

*Гидродинамическая передача* содержит только одну гидромашину (гидромуфту или гидротрансформатор), в которой происходит двойная трансформация энергии – механической в энергию потока жидкости и обратно в механическую – и затем сообщается исполнительным механизмам. Взаимодействие рабочего органа гидромашин с рабочей жидкостью происходит в проточной полости, которая постоянно сообщается с ее входом и выходом. Для обеспечения эффективности передачи энергии необходимы большие скорости движения рабочих органов и рабочей жидкости, поэтому именно их *динамическое взаимодействие* является решающим фактором рабочего процесса.

В современных машинах гидропривод часто имеет и гидрообъемные, и гидродинамические передачи. В таком приводе гидродинамическую передачу используют в приводе хода, а гидрообъемную – для управления рабочими органами.

*Электрический привод* в общем случае включает силовую установку (ДВС), электропередачи, механические передачи, систему управления и вспомогательные устройства.

В *электрическом приводе* механическая энергия ДВС преобразуется в энергию электрического тока (при помощи электрического генератора), которая затем преобразуется опять в механическую энергию (при помощи электрического двигателя) и сообщается исполнительным механизмам. Его основной передачей является *электрическая* – между электрогенератором и электродвигателем.

Третья основная часть привода – *система управления* – представляет собой комплекс приборов и устройств, которые обеспечивают контроль и управление параметрами двигателя, трансмиссии и исполнительных механизмов. Состав системы управления зависит от назначения машины, типа привода и трансмиссии, вида рабочего оборудования и уровня автоматизации. Система управления является компонентом привода, от которого зависят безопасность и долговечность эксплуатации, расход топлива и энергосбережение.

*Система управления тяговых машин* должна обеспечить наиболее экономичный режим работы двигателя и трансмиссии в зависимости от нагрузки на ходовое оборудование.

*Система управления несущих (базовых) машин*, помимо этого, должна обеспечить оптимальный режим эксплуатации двигателя и трансмиссии в зависимости от нагрузки на рабочие органы и предохранить их от перегрузок.

Стоит отметить, что приведенная классификация, как и другие, во многом условна, поскольку любой силовой привод, за исключением механического, является комбинированным, т.к. включает механические передачи. Вместе с тем, она позволяет с единых позиций охватить все виды приводов и составляющих их передач и трансмиссий.

Привод выбирают в зависимости от режимов и условий эксплуатации рабочего оборудования машины. Он должен соответствовать внешним нагрузкам.

Мощность  $N_{po}$  привода, расходуемая на выполнение рабочих операций, ограничивается максимальной мощностью силовой установки  $N_{дв}$  (кВт) и определяется по формуле

$$N_{po} = \eta N_{дв}, \quad (1.1)$$

где  $\eta$  – КПД привода.

Основными параметрами, характеризующими работу привода, являются  $M$ ,  $\omega$  или  $P$ ,  $v$ , которые связаны соотношениями:

$$N_{po} = M\omega \text{ или } N_{po} = Pv, \quad (1.2)$$

где  $M$  – момент сопротивления, преодолеваемый исполнительным механизмом, кН·м;

$\omega$  – угловая скорость этого механизма,  $c^{-1}$ ;

$P$  – усилие сопротивления, преодолеваемое исполнительным механизмом, кН;

$v$  – линейная скорость этого механизма, м/с.

*Двигатели внутреннего сгорания* обладают автономностью, высокой удельной мощностью (0,75–1,00 кВт/кг) и небольшим удельным расходом топлива (0,20–0,25 кг/кВт·ч). К недостаткам следует отнести чувствительность к перегрузкам, невысокий КПД (до 0,35–0,45) и отрицательное воздействие на окружающую среду. Между тем, подавляющее большинство дорожных и строительных машин оснащено дизельными двигателями, которые постоянно совершенствуются, прежде всего, за счет электронных систем управления.

ДВС базовых транспортных средств работают в условиях переменных нагрузок по мощности, при большой запыленности воздуха (до  $5 \text{ г/м}^3$ ), а также при значительных колебаниях температур (от  $-30$  до  $+50 \text{ }^\circ\text{C}$ ).



Поэтому они должны иметь запас по мощности, оснащаться улучшенными агрегатами воздухоочистки и устройствами предпускового подогрева в условиях эксплуатации при низких температурах.

В базовых машинах наиболее часто применяют четырех- и шестицилиндровые дизельные двигатели мощностью до 110–130 кВт и частотой вращения в интервале 1850–2100 мин<sup>-1</sup>. В целом же диапазон мощностей применяемых двигателей весьма широк: от 15 до 900 кВт. Их используют в машинах как с непосредственной передачей механической энергии на исполнительные органы, так и с различными преобразователями механической энергии.

Выбор ДВС осуществляют с учетом номинальной мощности  $N_{дв}$ , частоты вращения коленчатого вала  $n$ , массы  $m$  и удельного расхода топлива  $g_e$ .

Приближенно основные характеристики ДВС можно определить по эмпирическим формулам, которые связывают номинальную мощность двигателя без турбонаддува  $N_{дв}$  (кВт) и крутящий момент  $M_{кр}$  (Н·м) на валу двигателя с его рабочим объемом,

$$\begin{aligned} N_{дв} &= 9,33V_p + 17,92, \\ M_{кр} &= 51,07V_p + 39,38, \end{aligned} \quad (1.3)$$

где  $V_p$  – рабочий объем двигателя, л.

Кроме того, требуемую мощность двигателя  $N_{дв}$  (кВт) можно также подобрать при помощи простого соотношения, учитывающего коэффициент запаса  $k_3$  :

$$N_{дв} = k_3 N_{max}, \quad (1.4)$$

где  $k_3 = \begin{cases} 1,17 \dots 1,25 & \text{– для дизельных,} \\ 1,11 \dots 1,17 & \text{– для карюраторных ДВС;} \end{cases}$

$N_{max}$  – сумма мощностей, вычисленных при максимальных значениях моментов (или усилий) на рабочих органах, кВт.

Если же необходимо дать более точную оценку мощности ДВС колесной машины, его выбирают по балансу мощности:

$$N_{дв} = \frac{1}{\eta_{тр}} (N_{пер} + N_i + N_{букс} + N_p) + \sum N_{пр.м}, \quad (1.5)$$

где  $\eta_{\text{тр}}$  – КПД трансмиссии;

$N_{\text{пер}}, N_i, N_{\text{букс}}, N_p$  – мощности, затрачиваемые на перемещение, преодоление инерционных сил, буксование ведущих колес и сопротивление рабочих органов, кВт;

$\sum N_{\text{пр.м}}$  – мощность, отбираемая на привод различных вспомогательных механизмов машины, кВт.

Мощность (кВт), затрачиваемая на перемещение,

$$N_{\text{пер}} = \frac{(f + i_y)Gv_d}{\eta_{\text{тр}}}, \quad (1.6)$$

где  $i_y$  – индекс уклона;

$G$  – сила тяжести машины, кН;

$v_d$  – скорость перемещения машины м/с.

Мощность (кВт), затрачиваемая на преодоление инерционных сил,

$$N_i = \frac{G v_d^2}{g t_{\text{раз}}}, \quad (1.7)$$

где  $t_{\text{раз}}$  – время разгона до скорости  $v_d$ , с.

Мощность (кВт), затрачиваемая на преодоление буксования,

$$N_{\text{букс}} = P_k(v_T - v_d) = P_k v_T \delta, \quad (1.8)$$

где  $P_k$  – окружная сила на ведущих колесах, кН;

$v_T$  – теоретическая ( расчетная скорость), м/с;

$v_d$  – действительная скорость, м/с;

$\delta$  – коэффициент буксования,

$$\delta = 1 - \frac{v_d}{v_T}, \quad (1.9)$$

$\delta = \begin{cases} 0,18 \dots 0,22 & \text{– в тяговом режиме;} \\ 0,03 \dots 0,05 & \text{– в транспортном режиме.} \end{cases}$

Мощность (кВт) на преодоление сопротивления рабочих органов

$$N_p = P_p v_p, \quad (1.10)$$

где  $P_p$  – сила сопротивления на рабочих органах, кН;

$v_p$  – скорость движения рабочих органов, м/с.

ДВС без преобразователей механической энергии в сочетании с механическими трансмиссиями продолжают использовать для привода ходового оборудования некоторых моделей базовых транспортных средств.

В механических трансмиссиях основными элементами являются зубчатые и червячные передачи. Они образуют коробки отбора мощности и коробки перемены скоростей, раздаточные редукторы, ходоуменьшители, бортовые редукторы, ведущие мосты и др. В состав механических трансмиссий входят также сцепные, соединительные и предохранительные муфты, тормоза, а также различные механические устройства для изменения направления, частоты вращения и крутящего момента.

Зубчатые передачи обеспечивают заданные значения передаточных чисел. Их основным преимуществом является наибольший из всех передач КПД из-за отсутствия потерь энергии, связанных с ее преобразованием. Напомним КПД основных механических передач:

- зубчатой цилиндрической закрытой – 0,97–0,99;
- зубчатой конической закрытой – 0,95–0,98;
- червячной многозаходной закрытой – 0,87–0,92;
- планетарной закрытой – 0,96–0,99;
- цепной – 0,96–0,98.

Благодаря достоинствам зубчатых передач механические трансмиссии имеют высокий КПД (0,80–0,85) и обеспечивают точное соблюдение заданных скоростей и моментов. К недостаткам следует отнести большую металлоемкость, сложность конструкции и компоновки передачи при широком диапазоне регулирования скоростей и моментов, а также их ступенчатое изменение (скоростей и моментов).

Эффективность работы любой трансмиссии, ее способность изменять скоростные и силовые параметры двигателя оцениваются несколькими показателями, в числе которых соотношения, связывающие ее входные и выходные характеристики:

1) КПД  $\eta_{тр} = N_{вых} / N_{вх}$  ( $N_{вых}$  и  $N_{вх}$  – мощности на выходном и входном валах);

2) передаточное число  $u_{тр} = \omega_{вх} / \omega_{вых} = n_{вх} / n_{вых}$  ( $\omega_{вх}$  и  $\omega_{вых}$  – угловые скорости,  $n_{вх}$  и  $n_{вых}$  – частоты вращения входного и выходного валов);

3) коэффициент преобразования момента  $k_{пр} = M_{вых} / M_{вх} = \eta_{тр} u_{тр}$  ( $M_{вых}$  и  $M_{вх}$  – крутящие моменты на валах).

Многоточные планетарные передачи обеспечивают меньшие металлоемкость и размеры, а также более высокий КПД по сравнению с обычными зубчатыми передачами, имеющими неподвижные оси. Их

применение позволяет устранить разрыв потока мощности, который происходит в традиционных валовых коробках передач при их переключении (на малых скоростях при больших тяговых усилиях) и приводит к остановке машины. В планетарных коробках переключение занимает очень короткий промежуток времени, поэтому машина не успевает остановиться.

*В комбинированных силовых установках*, как уже было отмечено, механическая энергия ДВС преобразуется в энергию потока жидкости, электрического тока или сжатого воздуха и затем снова в механическую энергию для исполнительных механизмов. Передачу мощности от силовой установки к исполнительным механизмам осуществляют при помощи различных трансмиссий, содержащих гидравлические, электрические и другие передачи в сочетании с механическими.

Трансмиссии могут быть различной степени сложности, состоящими из одной передачи или нескольких передач различного типа. Трансмиссии современных машин, как правило, являются комбинированными механизмами, которые передают вращательное и поступательное движение различным видам исполнительных механизмов, а также обеспечивают их реверс и заданное положение в пространстве.

Имеется три основных варианта передачи движения при помощи трансмиссий:

- а) на ведущие колеса или звездочки движителей (ходовая трансмиссия);
- б) на валы отбора мощности для привода активных рабочих органов вращательного типа;
- в) на привод гидронасосов в гидросистемах ходового оборудования, рабочих органов и вспомогательного оборудования.

*Гидромеханические трансмиссии* имеют наибольшее распространение. В настоящее время термин «гидромеханические» относят к сочетанию механических передач как с гидрообъемными, так и с гидродинамическими передачами. Соответственно, их называют *гидромеханическими трансмиссиями с гидрообъемным (гидростатическим) компонентом* и *гидромеханическими трансмиссиями с гидродинамическим компонентом*. *Гидрообъемный компонент* – это насос и гидромотор, а *гидродинамический* – гидромуфта или гидротрансформатор.

В *объемной гидропередаче* имеются, как было отмечено, две основные гидромашины, соединенные между собой трубопроводами: объемный гидронасос, который преобразует механическую энергию вращения приводного вала ДВС (крутящий момент) в гидравлическую энергию потока рабочей жидкости, и гидродвигатель, который производит обратную трансформацию – преобразует гидравлическую энергию потока жидкости в механическую энергию. В зависимости от типа гидродвигателя

(вращательного или возвратно-поступательного действия) гидроэнергию преобразуют в два вида механической энергии: во-первых, в энергию вращения вала гидромотора (за счет крутящего момента) с последующей передачей движения на вал исполнительного механизма; во-вторых, в энергию поступательного силового воздействия на шток гидроцилиндра с последующей передачей движения рабочему оборудованию.

Механические передачи устанавливают в гидроприводе для изменения частоты вращения и крутящего момента в двух вариантах:

- между первичным двигателем и гидронасосом (для преобразования частоты вращения вала двигателя в требуемую частоту вращения насоса);
- между гидромотором и исполнительным механизмом (для увеличения крутящего момента и уменьшения скорости вращения исполнительного механизма).

Применение объемных гидropередач позволяет производить бесступенчатое регулирование скоростей исполнительных механизмов, а также осуществить их надежную защиту от перегрузок.

В гидроприводах дорожных, строительных и других машин чаще применяют шестеренчатые (шестеренные) и аксиально-поршневые насосы и гидромоторы, реже – радиально-поршневые и лопастные (пластинчатые). Конструктивной особенностью всех перечисленных насосов и гидромоторов является их *обратимость*, т.е. каждый из них можно использовать и как насос, и как гидромотор. Вместе с тем, в гидроприводах отечественных машин применяют, как правило, аксиально-поршневые гидромоторы.

Следует отметить, что подача рабочей жидкости объемным насосом является неравномерной и имеет пульсирующий характер, поскольку ее нагнетание происходит отдельными порциями. Многокамерность объемных насосов обеспечивает большую равномерность подачи жидкости и снижает пульсацию.

*Шестеренчатый (шестеренный) насос* – это роторная гидромашина, которая обеспечивает передачу крутящего момента с ведущего вала силовой установки на ведомый вал за счет движения рабочей жидкости, напор которой создает взаимодействие двух шестерен. Шестеренчатые насосы могут быть с внешним и внутренним зацеплением. На рисунке 1.1 представлена принципиальная схема шестеренчатого насоса внешнего зацепления. Он состоит из корпуса 3 и двух одинаковых эвольвентных шестерен 1 и 2. Ведущая шестерня 1 закреплена на ведущем валу, а ведомая 2 получает от нее вращение. Всасывающая гидролиния подведена к шестерням со стороны выхода зубьев из зацепления, а напорная – со стороны входа в зацепление. При вращении шестерен жидкость из зоны всасывания А в напорную зону Б переносится в полостях, образованных впадинами зубьев и стенкой корпуса. Головки зубьев, входя в зацепление, выдавливают жидкость из впадин между зубьями, создавая давление в

напорной гидролинии привода. Число зубьев в ведущей и ведомой шестернях одинаково и составляет обычно 6–18 единиц.

Рабочий объем двухшестеренчатого насоса  $V_o$  (дм<sup>3</sup> или л) равен суммарному объему всех впадин и зубьев обеих шестерен. Его определяют по формуле

$$V_o = 1000\pi D b h = \frac{2\pi}{1000} z m^2 b, \quad (1.11)$$

где  $D$  – диаметр начальной окружности шестерни, м;

$b$  – ширина зубчатого венца шестерни, м;

$h$  – высота зубьев (или глубина впадины), м;

$z$  – число зубьев шестерни;

$m$  – модуль зацепления, мм.

Подача насоса (л/мин)

$$Q_n = \eta_o n_n V_o, \quad (1.12)$$

где  $\eta_o$  – объемный КПД насоса;

$n_n$  – частота вращения шестерни, мин<sup>-1</sup>.

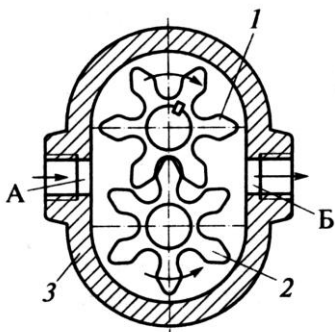


Рисунок 1.1 – Схема шестеренчатого насоса:

А – полость всасывания; Б – напорная полость;

1 – ведущая шестерня; 2 – ведомая шестерня; 3 – корпус

Шестеренчатые насосы имеют постоянную подачу и работают в диапазоне частот вращения от 500 до 2500 мин<sup>-1</sup>. Их применяют в гидросистемах дорожных и строительных машин, где величина КПД не имеет существенного значения. Для приводов рабочих органов выпускают серии насосов, рассчитанных на давления до 25 МПа. Шестеренчатые двигатели используют также в нерегулируемых быстроходных передачах, не требующих большого пускового момента.

Современные конструкции шестеренчатых насосов отличаются повышенным номинальным

давлением, широким диапазоном типоразмеров и пониженным уровнем шума. При необходимости их могут выполнить многосекционными (до

четырёх секций). Их применяют в приводах мощностью до 75 кВт. КПД современных конструкций насосов составляет 0,83–0,85.

*Аксиально-поршневой насос* – это роторная гидромашина, оснащенная вытеснителями в виде поршней (или плунжеров), у которой возвратно-поступательное движение поршней параллельно оси вращения насоса. В аксиально-поршневом насосе (рисунок 1.2) вместе с валом 1 вращается блок цилиндров 4, который расположен под углом  $\alpha$  к оси вала. При работе насоса поршни 3 при помощи шатунов 2 поочередно выдвигаются из цилиндров или вталкиваются в них. Соответственно, при выдвигании поршня из цилиндра рабочая жидкость засасывается из гидробака, а при втягивании – нагнетается в напорную магистраль. Угол наклона  $\alpha$  качающегося блока определяет ход поршней и подачу насоса. Эти насосы имеют постоянную подачу *при постоянном угле наклона*, т.е. являются *нерегулируемыми*, и переменную подачу *при изменяющемся угле наклона*, т.е. являются *регулируемыми*. Аксиально-поршневые насосы работают в диапазоне частот вращения от 1000 до 3000 мин<sup>-1</sup>. Давление составляет 40–50 МПа, а КПД достигает 0,85–0,95.

Аксиально-поршневые насосы и гидромоторы компактны, имеют большой КПД, сравнительно малую инерционность и удельную мощность до 12 кВт/кг. Недостатки – необходимость тонкой фильтрации рабочей жидкости, сложность изготовления и небольшая долговечность деталей насоса. Их применяют в главных и вспомогательных приводах одно- и многоковшовых экскаваторов, скреперов и бульдозеров, автогрейдеров и других машин для земляных работ.

Рабочий объем аксиально-поршневого насоса  $V_o$  (дм<sup>3</sup>) определяют по формуле

$$V_o = 1000 \frac{\pi d^2}{4} z D t g \alpha, \quad (1.13)$$

где  $d$  – диаметр цилиндра (поршня), м;

$z$  – число поршней в блоке цилиндров;

$D$  – диаметр окружности осей цилиндров, м;

$\alpha$  – угол наклона блока цилиндров относительно оси вала, град.

Подача насоса (л/мин)

$$Q_n = 1000 \eta_o \frac{\pi d^2}{4} z n_n D t g \alpha, \quad (1.14)$$

где  $n_n$  – частота вращения блока, об/мин;

$\eta_0$  – объемный КПД насоса.

*Радиально-поршневой насос* – это роторная гидромашина, также оснащенная вытеснителями в виде поршней или плунжеров, у которой возвратно-поступательное движение поршней происходит в радиальном направлении.

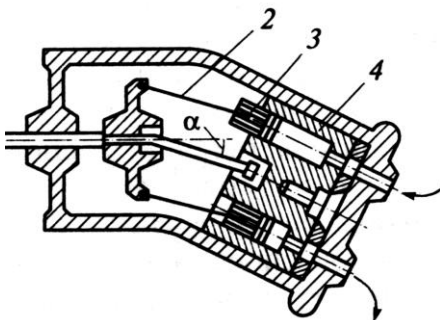


Рисунок 1.2 – Схема аксиально-поршневого насоса:

1 – вал; 2 – шатун; 3 – поршень; 4 – блок цилиндров

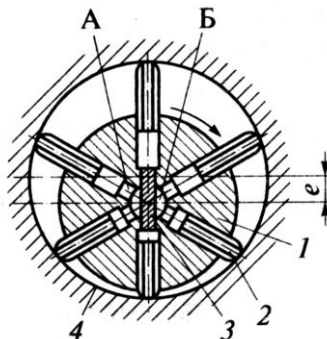


Рисунок 1.3 – Схема радиально-поршневого насоса:

А – напорное отверстие; Б – всасывающее отверстие;  
1 – ротор; 2 – поршень; 3 – распределитель жидкости; 4 – статор

Радиально-поршневой насос (рисунок 1.3) однократного действия состоит из статора 4 и ротора 1, который установлен в статоре с эксцентриситетом  $e$ . Ротор снабжен цилиндрическими отверстиями, в которых поршни 2 совершают возвратно-поступательное движение, а также распределителем жидкости 3 с напорным А и всасывающим Б отверстиями. За один оборот ротора каждый поршень совершает два хода: первый (всасывающий) – от центра всасывания через отверстие Б распределителя, второй (напорный) – при вращении ротора к центру нагнетания через отверстие А. Количество поршней влияет на качество работы насоса: чем больше поршней, тем меньше пульсаций потока жидкости. Радиально-поршневые насосы развивают давление до 25 МПа при частоте вращения ротора от 1500 до 6000 мин<sup>-1</sup>.

Радиально-поршневые гидромашины используют для передачи больших крутящих моментов при невысокой частоте вращения вала, поэтому в объемном гидроприводе радиально-поршневые моторы устанавливают непосредственно на ведущих колесах. Ограниченное использование таких гидромоторов объясняется упомянутой спецификой их технических возможностей и высокой стоимостью.



Рабочий объем радиально-поршневого насоса  $V_0$  (дм<sup>3</sup>) определяют по формуле

$$V_0 = 1000 \frac{\pi d^2}{2} k e z, \quad (1.15)$$

где  $d$  – диаметр цилиндра, м;

$k$  – кратность действия;

$e$  – эксцентриситет, м;

$z$  – число поршней.

Подача насоса (л/мин) составляет

$$Q_n = 1000 \eta_0 \frac{\pi d^2}{2} k e z n_n, \quad (1.16)$$

*Пластинчатый (лопастной) насос* – это роторно-поступательная гидромашина с рабочими органами в виде пластин. Пластинчатые насосы могут быть одно- и многократного действия.

На рисунке 1.4 приведена принципиальная схема пластинчатого насоса однократного действия, который состоит из корпуса (статора) 3, в котором с осевым эксцентриситетом  $e$  установлен ротор 1, в пазах которого размещены пластины 2.

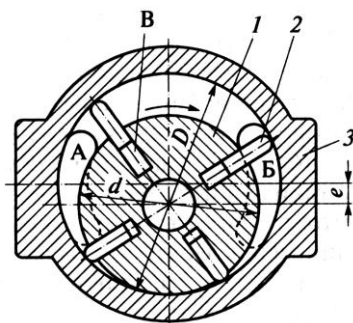


Рисунок 1.4 – Схема пластинчатого насоса:

А – окно в зоне всасывания, Б – окно в зоне нагнетания; В – полость;

1 – ротор, 2 – пластина, 3 – корпус (статор)

При вращении ротора пластины одновременно совершают возвратно-поступательное движение в пазах под действием центробежных сил. Рабочими камерами являются объемы, ограниченные соседними пластинами и поверхностями ротора и корпуса. При вращении ротора жидкость поступает в зону всасывания из гидробака через окно А, расположенное в боковой стенке насоса. Она заполняет объем между пластинами в зоне всасывания и затем при вращении ротора за счет уменьшения объема между пластинами и корпусом под

напором вытесняется через окно Б в напорную линию. Лопастные насосы развивают давление до 16–25 МПа при КПД 0,80–0,85. Частоты их вращения находятся в диапазоне 1000–1500 мин<sup>-1</sup>.

Несмотря на компактность и простоту изготовления, их практически не применяют в приводах машин для земляных работ из-за ограниченных эксплуатационных характеристик.

Рабочий объем пластинчатого насоса  $V_0$  (дм<sup>3</sup>) определяют по формуле

$$V_0 = 2 \cdot 1000 k e (\pi d - \delta z) b, \quad (1.17)$$

где  $k$  – кратность действия;

$e$  – эксцентриситет, м;

$d$  – диаметр цилиндра, м;

$\delta$  – толщина пластины, м;

$z$  – число пластин;

$b$  – ширина пластины, м.

Подача насоса (л/мин)

$$Q_n = \eta_o V_0 n_n. \quad (1.18)$$

Напомним, что КПД гидронасоса характеризует все потери энергии, которые складываются из объемных и гидромеханических потерь. Объемные потери, которые оцениваются объемным КПД ( $\eta_o$ ), возникают из-за утечки и циркуляции жидкости из области высокого давления в область низкого. Гидравлические потери включают две составляющие – местные потери и потери на трение по длине. Местные потери – это потери в местных гидравлических сопротивлениях, к которым относятся поворот, сужение или расширение, а также различные гидроустройства типа вентилей, жиклеров и др. Потери на трение по длине вызваны как внутренним трением в жидкости, так и трением по стенкам труб постоянного сечения. Соответственно, гидравлические потери характеризуются гидравлическим КПД ( $\eta_r$ ). Механические потери характеризуются механическим КПД ( $\eta_m$ ) и связаны с потерями энергии на трение в подшипниках, уплотнениях и др. Таким образом, полный КПД насоса

$$\eta_n = \eta_o \eta_r \eta_m. \quad (1.19)$$

Объемные гидропередачи являются самыми распространенными в дорожных и других машинах. Их достоинства используют в

комбинированных трансмиссиях в сочетании с другими типами передач. Это гидромеханические ходовые трансмиссии и трансмиссии привода рабочих органов, пневмогидравлические тормозные системы и электрогидравлические системы управления.

Схему *насос – гидромотор – механическая передача – рабочий орган* используют при передаче движения активным рабочим органам вращательного действия. Их мощности ( $N_H$ ,  $N_M$ ,  $N_{po}$ , кВт) связаны соотношениями:

$$N_H = N_M / \eta_H, \quad (1.20)$$

$$N_M = N_{po} / (\eta_{ГМ} \eta_{мех}) = M_{po} \omega_{po} / (\eta_{ГМ} \eta_{мех}), \quad (1.21)$$

где  $\eta_{ГМ}$  – КПД гидромотора,  $\eta_{ГМ} = \eta_o$  ;

$\eta_{мех}$  – КПД механической передачи между гидромотором и рабочим органом;

$M_{po}$  – расчетный момент сопротивления на рабочем органе, кН·м;

$\omega_{po}$  – угловая скорость вращения рабочего органа, рад/с.

Мощность (кВт), которую развивает насос, зависит от его подачи  $Q_H$  (л/мин)

$$N_H = 100 Q_H \Delta p_H / 60 \eta_H, \quad (1.22)$$

где  $\Delta p_H$  – перепад давлений на входе и выходе насоса, МПа.

Вращающий момент (кН·м) на валу гидромотора

$$M_M = \frac{1}{2\pi} \eta_{ГМ} \Delta p_M V_o, \quad (1.23)$$

где  $\Delta p_M$  – перепад давления в гидромоторе, МПа,  $\Delta p_M \approx 0,9 p_{ном}$  ;

$p_{ном}$  – номинальное давление в гидросистеме, МПа;

$V_o$  – рабочий объем, дм<sup>3</sup>.

Передаточное число механической передачи между гидромотором и рабочим органом

$$u_M = \frac{M_{po}}{\eta_{мех} M_M}. \quad (1.24)$$

Подача  $Q_n$  зависит от характеристик гидросистемы и типа насоса, она определяется по формулам (1.12), (1.14), (1.16) и (1.18).

Схему *насос – гидроцилиндр – рабочий орган* используют при необходимости изменения положения рабочих органов или передачи исполнительным механизмам возвратно-поступательного движения. Для реализации этого вида движения применяют в основном поршневые цилиндры двухстороннего действия с односторонним штоком. Усилия на штоке, определяющие технические возможности гидроцилиндров, зависят от их геометрических характеристик и давления рабочей жидкости.

Для гидроцилиндра с поршневой рабочей полостью усилие выдвижения штока (кН)

$$F_{\text{выд}} = 1000 \frac{\pi}{4} \eta_{\text{ц}} [(p_{\text{п}} - p_{\text{ш}})D^2 + p_{\text{ш}}d^2], \quad (1.25)$$

где  $p_{\text{п}}$ ,  $p_{\text{ш}}$  – давление в поршневой и штоковой полостях соответственно, МПа;

$\eta_{\text{ц}}$  – механический КПД гидроцилиндра,  $\eta_{\text{ц}} = 0,85 \dots 0,95$ ;

$D$ ,  $d$  – диаметр поршня и штока соответственно, м.

Для гидроцилиндра со штоковой рабочей полостью усилие вытягивания штока (кН)

$$F_{\text{выт}} = 1000 \frac{\pi}{4} \eta_{\text{ц}} [(p_{\text{ш}} - p_{\text{п}})D^2 - p_{\text{ш}}d^2]. \quad (1.26)$$

Чтобы скорость перемещения штока была одинакова в обоих направлениях, должно соблюдаться условие

$$d^2 = D^2 / 2. \quad (1.27)$$

*Гидродинамические передачи* используют, как правило, в ходовых трансмиссиях дорожных, строительных и других машин. В них механическая энергия ДВС преобразуется в кинетическую энергию потока жидкости, которая затем вновь трансформируется в механическую энергию. Принцип их действия состоит в том, что в едином корпусе гидромашины поток рабочей жидкости (маловязкого минерального масла с присадками), разогнанный лопастями насосного колеса (от вала ДВС), передает большую часть своей кинетической энергии лопастям турбинного колеса и тем самым заставляет вращаться вал турбины. Если сопоставить эту передачу с

объемной, то функции гидронасоса выполняет насосное колесо, а гидромотора – турбинное. Но при этом они передают мощность только на расстояния, ограниченные их габаритами.

*Гидромеханические трансмиссии с гидродинамическим компонентом* используют в приводах многих машин. Их основой являются *гидромуфты* и *гидротрансформаторы*, которые относятся к *гидродинамическим передачам* (нередко их называют гидродинамическими машинами).

*Гидромуфта* (ГМ) состоит из корпуса (рисунок 1.5), в котором соосно установлены два лопастных колеса, а также подшипников и других деталей. Насосное колесо 3 соединено с двигателем через входной вал 1, а турбинное 4 связано выходным валом 5 с исполнительным механизмом. Каждое из лопастных колес имеет конструкцию в виде половины торообразной полости с плоскими радиально расположенными лопатками, а вместе оба колеса образуют в корпусе торообразную полость. Она на 3/4 своего объема заполнена рабочей жидкостью.

При вращении насосного колеса жидкость за счет центробежных сил раскручивается при помощи лопаток и отбрасывается от оси вращения к периферии колеса. В результате в периферийной зоне создается повышенное давление и происходит перетекание жидкости в полость турбинного колеса. При переходе рабочей жидкости в полость турбинного колеса она воздействует на лопатки турбины, заставляя последнюю вращаться. Поскольку жидкость отдает свою энергию турбинному колесу, ее скорость уменьшается, при этом она смещается от периферии колеса к его оси вращения и переходит из полости турбинного в полость насосного колеса. Далее рабочий процесс повторяется: жидкость циркулирует в межлопаточном пространстве колес по замкнутому контуру.

Гидромуфты размещают между ДВС и исполнительными механизмами. Их используют для автоматического бесступенчатого изменения скорости движения рабочего органа в зависимости от внешней нагрузки, а также в качестве предохранительных муфт для защиты ДВС от перегрузок. В приводах с гидромуфтами двигатель можно запускать без отключения трансмиссии.

Они не предназначены для преобразования величины и направления крутящего момента. Поскольку в гидромуфте не происходит изменения крутящего момента (крутящие моменты на валах насосного и турбинного колес равны, т.е.  $M_H = M_T$ ), ее КПД численно равен передаточному числу:

$$\eta_{ГМ} = \frac{N_T}{N_H} = \frac{M_T \omega_T}{M_H \omega_H} = \frac{\omega_T}{\omega_H} = u_{ГМ}, \quad (1.28)$$

где  $N_T$ ,  $N_H$  – мощность на валах турбинного и насосного колес, кВт;

$M_T, M_H$  – крутящие моменты на турбинном и насосном колесах, кН·м;

$u_{ГМ}$  – передаточное число ГМ;

$\omega_T, \omega_H$  – угловая скорость турбинного и насосного колес, с<sup>-1</sup>.

При этом КПД гидромуфты не является постоянной величиной. Он меняется от нуля (в момент включения) до максимальных значений – 0,97–0,98 (при движении с постоянной скоростью).

Поскольку в гидромуфте отсутствует жесткая механическая связь между колесами, турбинное колесо отстает от насосного, в результате чего угловая скорость выходного вала будет меньше скорости входного, т.е.  $\omega_T < \omega_H$ . Это отставание характеризуют *скольжением* (безразмерным кинематическим параметром). Скольжение  $S$  связано с угловыми скоростями колес следующим соотношением:

$$S = \frac{\omega_H - \omega_T}{\omega_H} = 1 - \frac{\omega_T}{\omega_H} = 1 - u_{ГМ}.$$

Гидромуфты по сравнению с фрикционными сцеплениями, применяемыми в механических трансмиссиях, значительно снижают динамические нагрузки в двигателе, не требуют регулировок в эксплуатации, упрощают управление и повышают проходимость машины.

*Гидротрансформатор* (ГТ) устанавливают между двигателем и коробкой передач. Он обеспечивает бесступенчатое изменение крутящего момента на каждой из передач и смену передач без выключения сцепления. ГТ (рисунок 1.6), имеет, помимо насосного и турбинного колес, специальный элемент (его устанавливают между колесами), а также корпус, подшипники и другие детали. Специальный элемент называют реактором, поскольку благодаря ему в полости ГТ возникает реактивный момент и изменяется не только частота вращения выходного вала (как в гидромуфте), но и крутящий момент, передаваемый от входного к выходному валу.

Таким образом, ГТ (рисунок 1.6) содержит три рабочих колеса: насосное 4, турбинное 3 и реакторное 5. Основное отличие конструкции колес ГТ от колес муфты состоит в том, что они имеют сложный криволинейный профиль лопаток. Реактор 5 может быть установлен неподвижно или может вращаться на обгонной муфте 6.

При работе гидротрансформатора насосное колесо 4 жестко соединено с его корпусом 2, который приводится во вращение коленчатым валом 1 двигателя. При этом масло захватывается лопатками вращающегося насосного колеса 4, отбрасывается центробежной силой к наружной окружности и попадает на лопатки турбинного колеса 3. Благодаря создаваемому при этом напору колесо приводится во вращение вместе с выходным валом 7. Затем

жидкость попадает на лопапки неподвижно закрепленного реакторного колеса 5, которое изменяет направление потока жидкости, и опять поступает к насосному колесу. Таким образом, рабочая жидкость непрерывно циркулирует по замкнутому кругу внутренней полости рабочих колес и участвует в общем вращении с колесами.

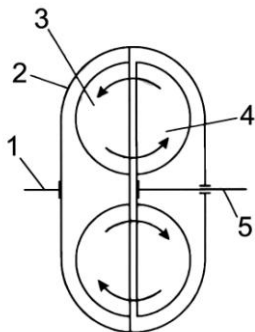


Рисунок 1.5 – Гидромукта:  
 1 – входной вал (от ДВС); 2 – корпус;  
 3 – насосное колесо; 4 – турбинное колесо;  
 5 – выходной вал

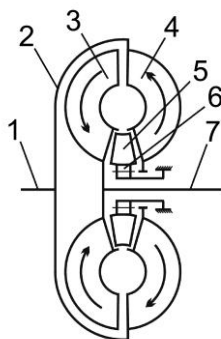


Рисунок 1.6 – Гидротрансформатор:  
 1 – входной вал (от ДВС); 2 – корпус;  
 3 – турбинное колесо; 4 – насосное колесо;  
 5 – реакторное колесо; 6 – обгонная муфта;  
 7 – выходной вал

Лопатки неподвижного реакторного колеса 3 изменяют направление проходящего через него потока жидкости. При этом на лопатках реактора возникает усилие, вызывающее появление реактивного момента. При большой разнице скоростей между насосом и турбиной реактивный момент будет добавляться к моменту на турбине. В результате крутящий момент на турбинном колесе будет больше момента на насосном колесе. По мере выравнивания скоростей насосного и турбинного колес реактор, благодаря муфте свободного хода, начинает свободно вращаться, что сопровождается увеличением КПД и снижением коэффициента трансформации.

Итак, *если реактор неподвижен*, то при изменении внешней нагрузки в ГТ преобразуется (изменяется) не только скорость, но и крутящий момент. При этом вне зависимости от внешней нагрузки момент и угловая скорость на насосном колесе (т.е. и на валу ДВС) изменяются незначительно, чем обеспечивается защита ДВС от перегрузок. Однако наличие неподвижного реактора снижает КПД гидротрансформатора: его максимальные значения не превышают 0,85–0,87.

КПД гидротрансформатора определяют по формуле, связывающей коэффициент трансформации с передаточным числом:

$$\eta_{ГТ} = \frac{N_T}{N_H} = \frac{M_T \omega_T}{M_H \omega_H} = k_{тр} u_{ГТ}, \quad (1.29)$$

где  $k_{тр}$  – коэффициент трансформации (или динамическое передаточное число),

$$k_{тр} = \frac{M_T}{M_H} = \frac{M_H + M_p}{M_H}, \quad (1.30)$$

$M_T$ ,  $M_H$ ,  $M_p$  – крутящие моменты на валах турбинного, насосного и реакторного колес соответственно, кН·м;  
 $u_{ГТ}$  – передаточное число ГТ.

Крутящий момент (кН·м) на валу насосного колеса определяют по формуле

$$M_H = \lambda \rho \omega^2 D^5 / 1000, \quad (1.31)$$

где  $\lambda$  – безразмерный коэффициент вращающего момента, зависящий от режима работы гидropередачи;

$\rho$  – плотность рабочей жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$\omega$  – угловая скорость вращения колеса, рад/с;

$D$  – наибольший диаметр рабочей полости, м.

Мощность (кВт) на валу насосного колеса

$$N_H = \lambda \rho \omega^3 D^5 / 1000. \quad (1.32)$$

*Если реакторное колесо установлено на обгонной муфте, она включается автоматически при малых нагрузках и освобождает реакторное колесо, вследствие чего оно вращается вместе с насосным и турбинным колесами. В этом случае гидротрансформатор становится гидромуфтой, поскольку у него отсутствует неподвижное реакторное колесо. Как следствие, при работе в режиме гидромуфты существенно повышается КПД гидромашин. Соответственно, при переходе в режим гидромуфты коэффициент трансформации  $k_{тр} = 1$ , а формула (1.29) преобразуется в формулу (1.28).*

Гидромашину, совмещающую функции гидротрансформатора (с изменением крутящего момента) и гидромуфты (без изменения момента),



называют *комплексным гидротрансформатором* и часто применяют в автотранспортных средствах и дорожных машинах. По мере разгона и увеличения частоты вращения коленчатого вала двигателя момент на турбинном колесе уменьшается и становится равным моменту на насосном колесе (при  $k_{тр} = 1$ ). При этом ГТ переходит в режим работы ГМ (без преобразования крутящего момента). При снижении частоты вращения коленчатого вала ГТ возвращается в свой основной режим эксплуатации (с преобразованием крутящего момента). Таким образом, в широком диапазоне передаточных чисел такая гидромашина может работать как ГТ, а в узком диапазоне больших передаточных чисел – как ГМ. Это обеспечивает значительное (до 10 %) повышение КПД: с 0,85–0,87 до 0,94–0,98.

ГТ (заменяющий муфту сцепления в механических трансмиссиях) или реже ГМ устанавливают между двигателем и механической коробкой передач машины.

Гидротрансформаторы, помимо упомянутых достоинств гидромуфт, обладают свойством автоматического бесступенчатого изменения передаточного числа в зависимости от момента сопротивления на турбинном колесе. Это свойство дает возможность использовать ГТ в трансмиссии машины как коробку передач с бесступенчатым изменением передаточного числа. Однако при этом в трансмиссии должен быть установлен дополнительный механический редуктор для получения заднего хода.

ГТ классифицируют по числу турбинных колес, направлению потока жидкости, влиянию нагрузки на валу турбины на режим работы насоса и др. Их применяют в приводах машин, для которых с изменением внешних нагрузок следует автоматически изменять рабочие скорости, а также снижать динамические нагрузки при стопорении рабочих органов при встрече с непреодолимым препятствием.

Основным недостатком гидродинамических машин (ГМ и ГТ) является передача мощности только на расстояния, ограниченные их габаритами, и передача только вращательного движения. Следует также иметь в виду, что для этих машин необходима дополнительная гидросистема с вспомогательным насосом для подпитки рабочей жидкостью.

Вместе с тем, совмещение механических трансмиссий с гидродинамическими передачами обеспечивает эффективное управление приводом. Последние дают быстрый разгон и торможение, хорошо гасят крутильные колебания, выполняют функции автоматических бесступенчатых коробок скоростей и согласовывают работу механизмов, получающих энергию от одного приводного двигателя.

Как правило, гидромеханическая трансмиссия с гидродинамическим компонентом состоит из ГТ (бесступенчатой гидродинамической коробки передач), гидросистемы его маслопитания, механической коробки передач (вальной или планетарной) и гидроэлектрической (или пневмогидроэлектрической) системы управления. Если система управления трансмиссии имеет электронный блок, управляющий работой передачи по заданной программе от сигналов, поступающих от группы датчиков, то такой агрегат называют *автоматической коробкой передач*.

Как было отмечено, во многих моделях машин используют одновременно как гидродинамические передачи – в ходовых трансмиссиях, так и гидрообъемные – для привода рабочего оборудования.

*Электрический привод* реализуют в двух вариантах:

– в виде комбинированной силовой установки ДВС – электрогенератор, которая находится непосредственно на машине, с последующей передачей энергии электродвигателю и далее исполнительным механизмам (этот дизель-электрический привод используют в автономных машинах);

– в виде сетевого электродвигателя, который получает электроэнергию от источника питания вне машины, т.е. от электросети, и передает механическую энергию исполнительным механизмам. Такую схему используют в машинах ограниченной мобильности, например, в кранах и других подъемно-транспортных механизмах.

Этот вариант можно назвать комбинированным, так как для автономной работы вместо сетевого питания подключают двигатель внутреннего сгорания, установленный на машине.

Основной *автономного электрического привода* являются *электрические передачи*. В них крутящий момент ДВС передается к исполнительным механизмам через электрогенератор и электродвигатели (как постоянного, так и переменного тока).

Электродвигатели постоянного тока используют в основных тяговых приводах, а электродвигатели переменного тока – как правило, во вспомогательных приводах.

Тяговые электроприводы разделяют на *групповой* и *индивидуальный*. *Групповой привод* состоит из тягового двигателя постоянного тока, кинематически связанного через главную передачу с двумя движителями (гусеничными или колесными). *Индивидуальный привод* представляет собой отдельный агрегат на каждом ведущем колесе, который состоит из тягового двигателя постоянного тока и редуктора, кинематически связанного с колесом.

*Электродвигатели переменного тока* просты в управлении, надежны в эксплуатации, могут выдерживать большие кратковременные перегрузки (предельный коэффициент перегрузки по крутящему моменту, т.е. отношение максимального к номинальному моменту  $k_{пер} = 1,8 \dots 2,2$ ).

При сетевом электропитании в основном используют общепромышленные трехфазные асинхронные двигатели (ЭД с контактными кольцами), которые получают энергию от электросети с напряжением 220 и 380 В и частотой 50 Гц. В зависимости от мощности эти ЭД имеют либо короткозамкнутый (при  $N \leq 10$  кВт), либо фазовый ротор (при  $10 \leq N \leq 150$  кВт).

*Двигатели с короткозамкнутым ротором* удобны в управлении, но для их пуска требуется большой ток (пусковой момент). Как правило, такие двигатели используют только для привода лебедок и вспомогательных механизмов.

*Двигатели с фазным ротором* удовлетворительно работают при частых пусках и торможениях, их частоту вращения можно регулировать.

*Электродвигатели постоянного тока* являются наиболее подходящими для приводов автономных машин с тяжелым режимом работы. Они обеспечивают плавность пуска и торможения механизмов, имеют значительную перегрузочную способность и экономичность, постоянную готовность к работе и независимость от температуры эксплуатации.

*В электрических трансмиссиях*, как правило, используют тяговые электродвигатели с последовательным возбуждением, имеющие большой пусковой крутящий момент. При работе под нагрузкой они обладают хорошей способностью к саморегулированию: с повышением нагрузки их крутящий момент увеличивается, а с понижением – уменьшается. Вместе с тем, их масса (по разным данным) в 1,5–4,0 раза больше любых других силовых установок. Тем не менее, их применяют в гусеничных тракторах большой мощности (более 650 кВт) и большегрузных самосвалах, а также в приводах машин для земляных работ средней и большой мощности.

Эти способности тяговых электродвигателей с последовательным возбуждением используют в трансмиссиях для бесступенчатого регулирования их параметров, например, в приводе хода самосвала марки БелАЗ (рисунок 1.7).

В целом электрические трансмиссии обеспечивают простоту компоновки и упрощение механической части трансмиссии, бесступенчатое регулирование тяговой характеристики, а также возможность эффективной реализации большой мощности на мотор-колесах.

К их недостаткам как элементов трансмиссий следует отнести сравнительно низкий КПД (не более 80 %) и большую массу агрегатов трансмиссий.

Электрическая передача, выполняющая роль коробки передач, в сочетании с механическими передаточными механизмами составляет *электромеханическую трансмиссию*. В ней крутящий момент вала дизельного двигателя передается через постоянно замкнутую фрикционную муфту, карданный вал и ускоряющий редуктор силовому генератору, который сообщает постоянный ток тяговому электродвигателю. Далее

крутящий момент вала двигателя через главную передачу и бортовые редукторы передается на ведущие движители (колеса или звездочки гусеничных лент).

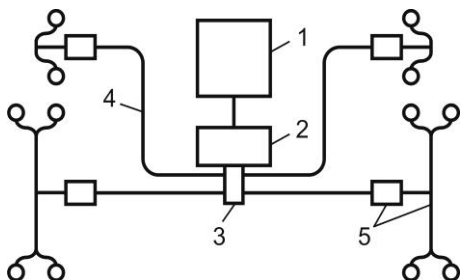


Рисунок 1.7 – Схема привода хода самосвала БелАЗ:

- 1 – двигатель внутреннего сгорания;
- 2 – электрогенератор; 3 – блок управления;
- 4 – электрокабель; 5 – мотор-колесо

Электрические передачи часто используют в системах управления машинами из-за простоты их адаптации к различным компоновкам привода.

*Ходовые трансмиссии* обеспечивают передачу крутящего момента от двигателя к *ходовым системам*. В зависимости от условий работы и назначения в базовых транспортных средствах используют *пневмоколесные (ПХС)* и *гусеничные (ГХС) ходовые системы*.

*Колесный движитель* обеспечивает высокие транспортные скорости (до 60–80 км/ч) и мобильность. Он имеет массу на 25–35 % меньше, чем гусеничный (при одинаковой мощности), высокий КПД ( $\eta = 0,80 \dots 0,85$ ) и большой ресурс (примерно в 20 раз больше ресурса гусеничного движителя). В то же время ПХС имеют меньшие тяговые характеристики и меньшую проходимость (давление на опорную поверхность составляет 0,1–0,4 МПа), чем ГХС.

Повсеместное применение ПХС объясняется широким спектром функций колесного движителя. Он не только преобразует вращательное движение ведущих колес в поступательное движение машины, но и является поддерживающим (передающим нагрузку от машины на основание) и направляющим (обеспечивающим сохранение или изменение направления движения машины) устройством, а также упругим элементом (гасящим или уменьшающим колебания во время работы или перемещения машины).

В пневмоколесном ходовом оборудовании различают *приводные* и *управляемые колеса*. Первые приводятся от ходовой трансмиссии, а вторыми управляют при изменении направления движения машины. Управляемые колеса могут быть одновременно и приводными. Для поворота машины используют как управляемые колеса, поворачиваемые относительно поворотных цапф, так и колеса с управляемой осью, поворачиваемой в плане относительно вертикального шкворня в ее средней

части. В случае управляемых колес они приводятся от рулевой трапеции, длины звеньев которой подобраны так, чтобы обеспечить поворот колес с разными углами без бокового скольжения при передвижении на поворотах.

ПХС являются базой для многих машин. В их числе машины для устройства земляного полотна, для содержания, ремонта и реконструкции автомобильных и городских дорог. У большинства дорожных машин имеется четырехколесное двухосное ходовое устройство, кроме того, применяются ходовые системы с 6–8 колесами (т. е. трех-, четырехосные), а также одно- и двухосные двухколесные тягачи.

*Гусеничный движитель* воспринимает значительные нагрузки при сравнительно низком давлении (до 0,02–0,03 МПа) на опорную поверхность, обеспечивает хорошую маневренность и высокие тяговые усилия, а также позволяет преодолевать большие уклоны (до 23°). Это способствует перемещению машины по слабым грунтам даже при погружении до половины высоты гусеницы (при наличии соответствующего клиренса). Однако его масса составляет 40–60 % от массы машины, а КПД не превышает 0,65–0,75.

Кроме того, ГХС машин наносят значительные повреждения дорожным покрытиям и не способны развивать большие скорости. Поэтому гусеничный ход используют, как правило, в пределах строительных площадок.

Некоторые из перечисленных недостатков ГХС компенсируются применением современных материалов и конструкций. Так, использование резиновых гусеничных лент, а также обрешеченных траков и катков позволяет уменьшить шум, снизить вибрации и ударные нагрузки на детали гусеничных систем, что способствует снижению износа и увеличению их долговечности. Этому также способствует применение межтраковых шарниров с герметично упакованной смазкой.

Ходовые системы (пневмоколесные и гусеничные) приводят в движение от ДВС через механические, гидромеханические и электромеханические трансмиссии.

## **1.2 Тракторы**

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

- 1) *по типу движителя* – колесные и гусеничные;

2) по тяговому классу – легкие (1,4 и 4 классы; мощностью 55–70 кВт), средние (5 и 6; 96–156 кВт), тяжелые (25 и 35; 243–342 кВт) и сверхтяжелые (50, 75 и 100 классы; 610–880 кВт) машины;

3) по типу трансмиссии – с механической, гидромеханической и электромеханической;

4) по типу рамы – безрамной и цельнорамной конструкции, с шарнирно-сочлененной рамой;

5) по компоновке двигателя – с передним и задним расположением;

6) по виду управления поворотом машины – с передними и задними управляемыми колесами, изломом шарнирно-сочлененной рамы и с бортовым поворотом.

Тяговые характеристики тракторов устанавливаются 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 тоннах.

*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 и 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 1.1 представлены некоторые модели отечественных колесных тракторов под маркой «МТЗ».

На базе тракторов «МТЗ» заводы, входящие в состав ПО «Минский тракторный завод», выпускают более 15 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».

*Гусеничные тракторы* могут иметь привод на задние или передние колеса (звездочки). В зависимости от назначения они могут иметь переднее или заднее расположение двигателя.

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

для колесного трактора

$$N = (0,0597 \pm 0,01)m_T^{0,85}, \quad (1.33)$$

для гусеничного трактора

$$N = (0,019 \pm 0,0025)m_T^{0,95}. \quad (1.34)$$

Таблица 1.1 – Технические характеристики колесных тракторов

Параметр	МТЗ-80.1	МТЗ -82.1	МТЗ -92П	МТЗ -1221	МТЗ -1523	МТЗ -2022	МТЗ -2822
$m$ , кг	3240/3700	3445/3900	3750/3900	4640/5300	5700/6000	6675/7220	9430/10800
$N$ , кВт	57,4	57,4	65,0	96,0	110,0	154,5	206
$J$ , г/кВт $\cdot$ ч	220	220	226	226	220	227	227
$U$ , 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
$R_{пов}$ , м	3,8	4,1	4,5	5,3	5,5	5,8	5,5
Габариты, мм: длина ширина высота	3815 1970 2785	3930 1970 2785	3850 1970 2850	4950 2250 2850	4750 2250 3000	5230 25 0 3120	5860 2830 3150
Примечание – $m$ – масса: в числителе – конструктивная, в знаменателе – эксплуатационная; $N$ – мощность силовой установки; $J$ – удельный расход топлива при номинальной мощности; $U$ – диапазон скоростей движения вперед; $R_{пов}$ – радиус поворота							



По данным работы [13] предельная масса полноразмерных транспортных средств составляет: для колесного трактора –  $(1,0-6,4) \cdot 10^3$  кг, для гусеничного –  $(5-75) \cdot 10^3$  кг.

Помимо полноразмерных машин, в процессах содержания дорог используют *пневмоколесные малогабаритные тракторы* с двумя и одной осью. 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 1.2 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.

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 двигатель 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 типа:

- 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 1.8 представлены основные типы гусеничных и колесных тракторов.

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

Особенности типичной ходовой трансмиссии колесного трактора представлены на рисунке 1.9.

У колесного трактора (модели МТЗ-80/82) к двигателю присоединены муфта сцепления, коробка передач и задний мост, которые образуют единый корпусный блок. Ведущий задний мост состоит из главной передачи 5, дифференциала 4, тормозов 2 и конечных передач 3, которые через валы 8 приводят ведущие колеса 1. Передние колеса могут быть

ведомыми (в модификации МТЗ-80) или ведущими (МТЗ-82). В последнем случае для их привода в коробке передач устанавливают раздаточный редуктор, который через карданный вал передает крутящий момент переднему мосту.

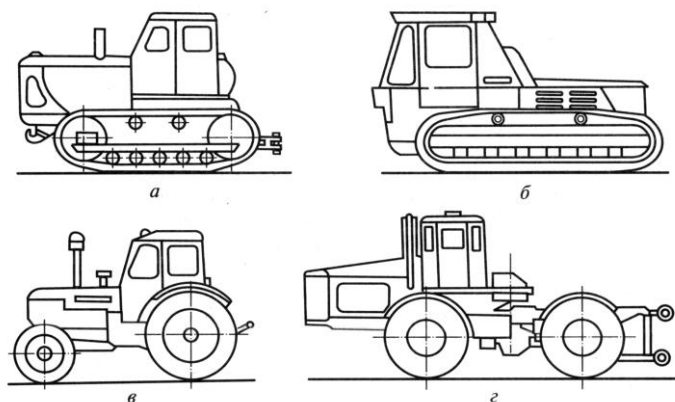


Рисунок 1.8 – Типы тракторов: гусеничные с передним (а) и задним (б) расположением двигателя; пневмоколесные с цельной (в) и шарнирно-сочлененной (г) рамами

У гусеничных тракторов трансмиссия несколько проще (рисунок 1.10).

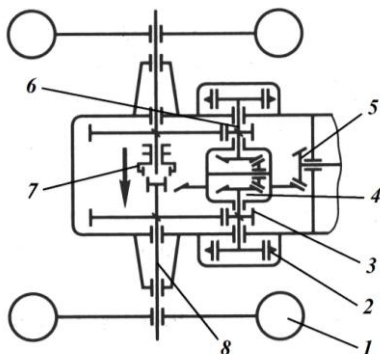


Рисунок 1.9 – Схема механической трансмиссии колесного трактора:  
1 – колесо; 2 – тормоз; 3 – конечная передача;  
4 – дифференциал; 5 – главная передача;  
6, 8 – валы; 7 – блокировка дифференциала

От двигателя 1 через фрикционную дисковую муфту сцепления 2, коробку передач 3 и карданный вал 4 движение передается на главную передачу 6 и на поперечный вал трансмиссии 5.

Далее имеются два варианта передачи движения.

В первом варианте (рисунок 1.10, а) от вала 5 через бортовые фрикционы 7 и бортовые редукторы 9 приводят ведущие звездочки 10 гусениц 11. Прямолинейное движение машины обеспечивает синхронное вращение ведущих звездочек 10 при обоих включенных фрикционах 7 (многодисковых фрикционных муфтах). Бортовой поворот

трактора обеспечивает включение только одного из фрикционов. В результате уменьшается скорость движения соответствующей гусеницы и трактор поворачивается в ее сторону. Для более крутого поворота ленточным тормозом 8 производят торможение отключенной от трансмиссии гусеницы.

Во втором варианте (рисунок 1.10, б) прямолинейное движение трактора обеспечивается следующим образом: крутящий момент от вала 5 при затянутых тормозах 13 и при остановке солнечных шестерен 14 передается через бортовые редукторы 9 на ведущие звездочки 10 гусениц.

Для поворота отпускают один из тормозов 13, в результате чего соответствующий планетарный механизм прекращает передачу движения на соответствующую ведущую звездочку. При включении тормоза 12 (на том же планетарном механизме) уменьшается радиус поворота трактора.

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.

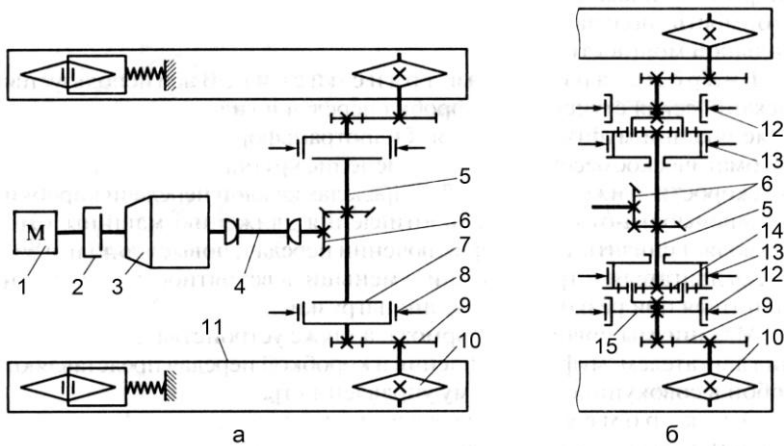


Рисунок 1.10 – Схемы механических трансмиссий гусеничных тракторов с фрикционным (а) и планетарным (б) механизмами поворота:

- 1 – двигатель; 2 – муфта сцепления; 3 – коробка передач; 4 – карданный вал; 5 – главный вал; 6 – главная передача; 7 – бортовой фрикцион; 8, 12, 13 – тормоза; 9 – бортовой редуктор; 10 – ведущая звездочка; 11 – гусеница; 14 – солнечная шестерня; 15 – водило

Таблица 1.2 – Технические характеристики малогабаритных колесных тракторов

Параметр	МТЗ-132Н	МТЗ -320	МТЗ -321	МТЗ -310	МТЗ -310Р	МТЗ -320Р	МТЗ -422	МТЗ -622
$m$ , кг	457/532	1650/1720	1380/1450	1560/1630	1590/1630	1590/1730	2000/2180	2200/2410
$N$ , кВт	9,6	26,5	26,5	26,5	26,5	33,5	36,6	46,0
$G$ , кг	457*	1100	–	1100	750	750	–	–
$J$ , г/кВт⊙ч	313	358	358	280	358	358	329	329
$U$ , 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
Примечание – $m$ – масса: в числителе – конструктивная, в знаменателе – эксплуатационная; $N$ – мощность силовой установки; $G$ – грузоподъемность; $J$ – удельный расход топлива при номинальной мощности; $U$ – диапазон скоростей движения вперед; * – масса прицепа								

Механический привод хода используют в основном в тракторах как тяговых транспортных средствах. Если же на трактор навешено рабочее оборудование, в этом случае, как правило, применяют гидромеханические трансмиссии. На рисунке 1.11 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 размещены коробка передач 5, задний ведущий мост 9 и кабина 4. Крутящий момент от двигателя через коробку передач 5 на ведущие мосты 1 и 9 передается карданными передачами 6 и 10.

*Рамы гусеничных тракторов* имеют два варианта конструктивного решения: во-первых, конструкция рамного типа, сваренная целиком из стального проката (листов, швеллеров, двутавров и др.), и, во-вторых, конструкция, состоящая из корпуса ходовой трансмиссии и приваренной к ней передней полурамы.

К раме первого типа крепятся элементы подвески трактора, соединяющие раму с осями опорных катков, которые передают через гусеничные цепи нагрузку от бульдозера на опорную поверхность.

В гусеничных тракторах в основном используют эластичную (упругую) и полужесткую (тележечного типа) ходовые части. Эластичная ходовая часть обеспечивает большие плавность хода и скорость движения трактора; тележечная – воспринимает большие внешние нагрузки и обеспечивает лучшие точность управления и качество работ при агрегатировании с бульдозером.

В упругих подвесках соединение опорных катков с рамой позволяет каткам перемещаться относительно друг друга и рамы в вертикальной плоскости.

В полужестких (трехточечных) подвесках оси опорных катков жестко крепятся к раме гусеничных тележек, каждая из которых соединена с рамой трактора: сзади – жестким шарниром, спереди – упругим элементом. Благодаря этому каждая тележка независимо друг от друга может качаться в вертикальной плоскости в пределах допустимой деформации переднего упругого элемента относительно оси заднего шарнира. Это обеспечивает равномерное распределение давления от силы тяжести бульдозера и увеличенные сцепные характеристики движителя.

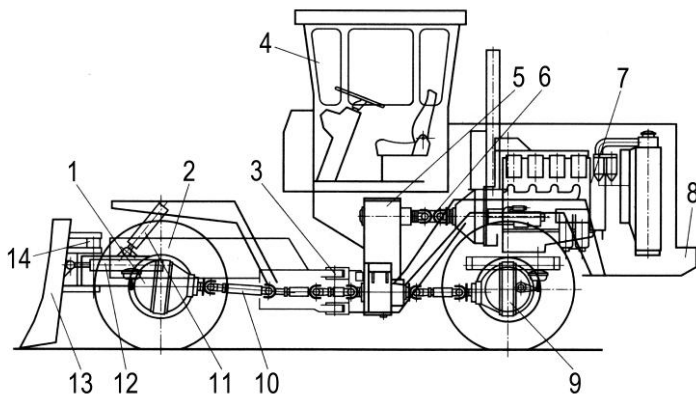


Рисунок 1.11 – Компоновочная схема колесного трактора с гидромеханической трансмиссией:

- 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

На рисунке 1.12 представлена конструктивная схема тележки трактора с полужесткой трехточечной подвеской.

Подвеска состоит из двух гусеничных тележек, размещенных на оси бортовых редукторов, и балансирующей балки 14, которая опирается на тележки через резиновые амортизаторы. Каждая тележка имеет шесть – семь опорных катков 9, 10, два поддерживающих катка 1, амортизационно-натяжной механизм и натяжное колесо 7. Рама 8 тракторной тележки состоит из двух продольных лонжеронов коробчатого сечения, соединенных поперечными связями. В задней части рамы имеется гнездо 11 для концевой подшипника бортового редуктора с ведущей звездочкой. Внутри рамы к лонжеронам прикреплен короб 15, в котором на амортизаторах 16 установлена опора 13 для балансирующей балки 14 рамы. Снаружи к лонжерону тележки приварена опора 12 для установки кронштейна для толкающего бруса бульдозера. Амортизационно-натяжной механизм включает гидроцилиндр механизма натяжения 5 и механизм сдавания 4. Опоры натяжного колеса 7 через проставку 6 связаны со штоком гидроцилиндра, который обеспечивает натяжение гусеницы.

*Рамы колесных тракторов* также имеют несколько вариантов конструктивного решения, в том числе безрамный и рамный остовы.

Легкие тракторы (типа МТЗ-80/82) имеют безрамную конструкцию, и остовом, на котором монтируются узлы и агрегаты, является блок

картеров двигателя и трансмиссии с прикрепленным к нему подрамником.

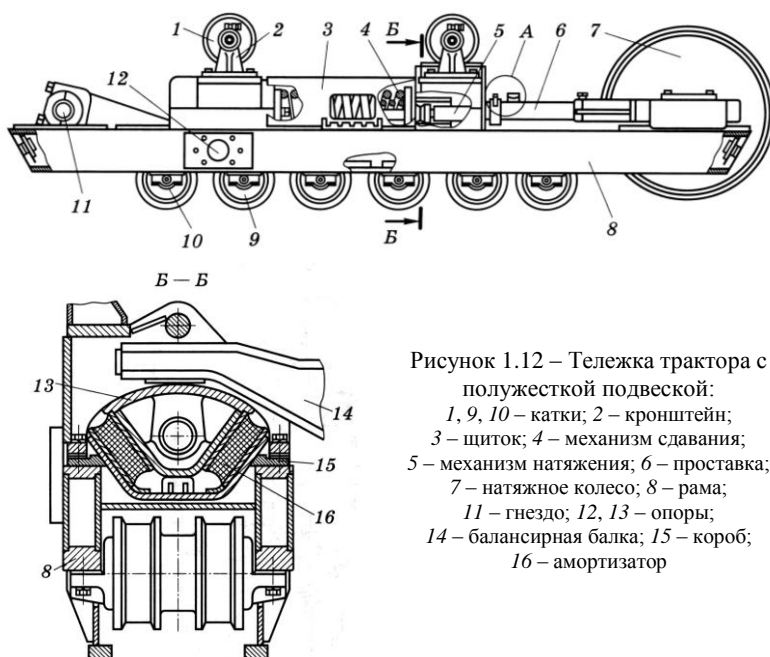


Рисунок 1.12 – Тележка трактора с полужесткой подвеской:  
 1, 9, 10 – катки; 2 – кронштейн;  
 3 – щиток; 4 – механизм сдвояния;  
 5 – механизм натяжения; 6 – проставка;  
 7 – натяжное колесо; 8 – рама;  
 11 – гнездо; 12, 13 – опоры;  
 14 – балансирующая балка; 15 – короб;  
 16 – амортизатор

Рама колесных тракторов большой мощности являются в основном шарнирно-сочлененными. Такая рама (рисунок 1.13) состоит из двух полурам 5 и 8, соединенных двойным шарниром 6, с помощью которого полурамы имеют возможность поворачиваться одна относительно другой в горизонтальной (на угол  $\pm 30^\circ$ ) и вертикальной (на угол  $\pm 20^\circ$ ) плоскостях при помощи рулевых гидроцилиндров. Обе полурамы оснащают одинаковыми ведущими мостами 2 и 3.

На передней полураме устанавливают рабочее оборудование с системой управления его положением, на задней полураме – двигатель с ходовой трансмиссией и кабину (см. рисунок 1.11). Для обеспечения поперечной устойчивости машины заднюю полураму шарнирно крепят к заднему ведущему мосту в одной точке.

Управление рабочим органом производится с помощью объемного гидропривода, который состоит из насоса, исполнительных гидроцилиндров, распределительных устройств (гидрораспределителя и клапанной аппаратуры) и вспомогательных устройств (бака с рабочей жидкостью, фильтра и гидролиний).

Используют следующие разновидности привода:

1) универсальный гидропривод – насос приводят от вала отбора мощности трактора; при этом насос, бак и распределитель комплектуют в единую конструкцию и устанавливают сзади трактора;

2) раздельно-агрегатный привод – насос приводят от коленчатого вала трактора; все агрегаты устанавливают раздельно.

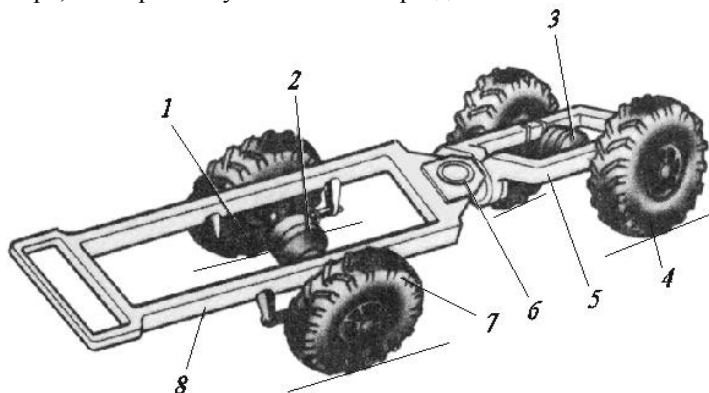


Рисунок 1.13 – Шарнирно-сочлененная рама колесного трактора:

1 – подвеска; 2, 3 – передний и задний мосты; 4, 7 – передние и задние колеса; 5, 8 – передняя и задняя полурамы; 6 – двойной шарнир

### 1.3 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:

1) *по количеству осей:*

тягачей – одно- и двухосные,  
шасси – двух-, трех- и четырехосные;

2) *по типу привода* – передне-, задне- и полноприводные;

3) *по типу трансмиссии* – с механической, гидромеханической и электромеханической;

4) *по типу рамы* – с жесткой и шарнирно-сочлененной;

5) *по способу управления поворотом машины* – с передними и задними управляемыми колесами, изломом шарнирно-сочлененной рамы и бортовым поворотом;

6) *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 навесным, полуприцепным и прицепным оборудованием. Мощность 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 1.14 представлены компоновочные схемы одно- и двухосного тягачей.

Одноосный тягач (рисунок 1.14, 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 (рисунок 1.14, 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.

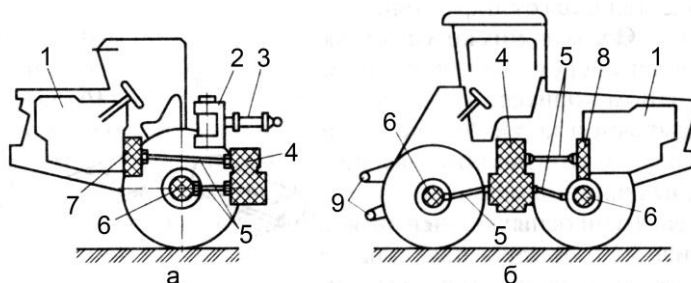


Рисунок 1.14 – Компоновочные схемы привода одно- (а) и двухосного (б) тягачей:

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 1.15 представлены конструктивная и кинематическая схемы одноосного тягача.

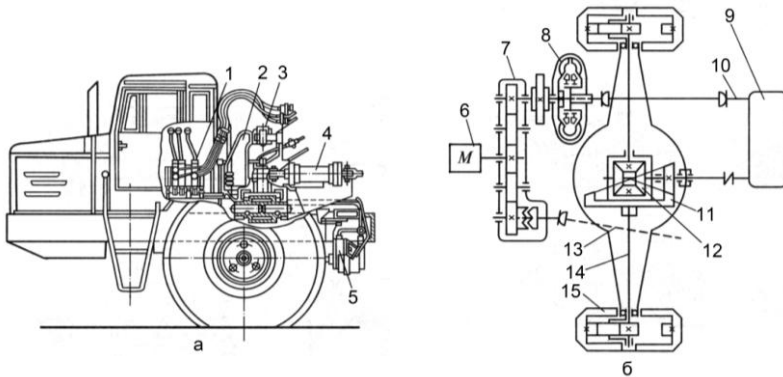


Рисунок 1.15 – Одноосный тягач (а) и его кинематическая схема (б):  
 1 – блок системы управления; 2 – стойка; 3 – вертикальный шкворень; 4 – гидроцилиндр;  
 5 – гидронасос; 6 – двигатель; 7 – раздаточная коробка; 8 – гидротрансформатор; 9 –  
 коробка перемены передач; 10, 13 – карданные валы; 11 – 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 обеспечения поворота прицепа. Кроме того, благодаря наличию сочленяющего шарнира оно дает возможность относительного поворота тягача и прицепа в вертикальной (на  $12^0$ ) и горизонтальной (на  $90^0$ ) плоскостях.

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

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 1.16 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 установлены кронштейны 6, 10 и 11 элементов подвески (амортизатора и рессор), а также предусмотрены 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.

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

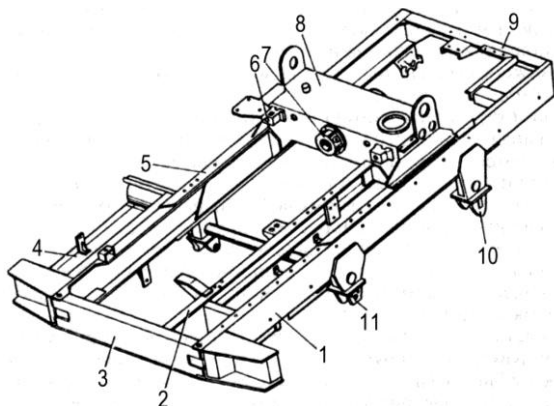


Рисунок 1.16 –  
Рама одноосного  
тягача;  
1, 2, 5 – лонжероны;  
3, 8, 9 – поперечные  
связи; 4 – ящик для  
аккумулятора;  
6 – кронштейн  
амортизатора;  
7 – ось;  
10, 11 – кронштейны  
рессор

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

Ряд моделей двухосных тягачей имеют гидромеханическую трансмиссию с гидрообъемным компонентом, достоинства которой были отмечены ранее. Один из вариантов принципиальной схемы объемного гидропривода двухосного колесного тягача представлен на рисунке 1.17. 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. Насос 2 системы подпитки предназначен для восполнения потерь жидкости в основных контурах гидросистемы машины.

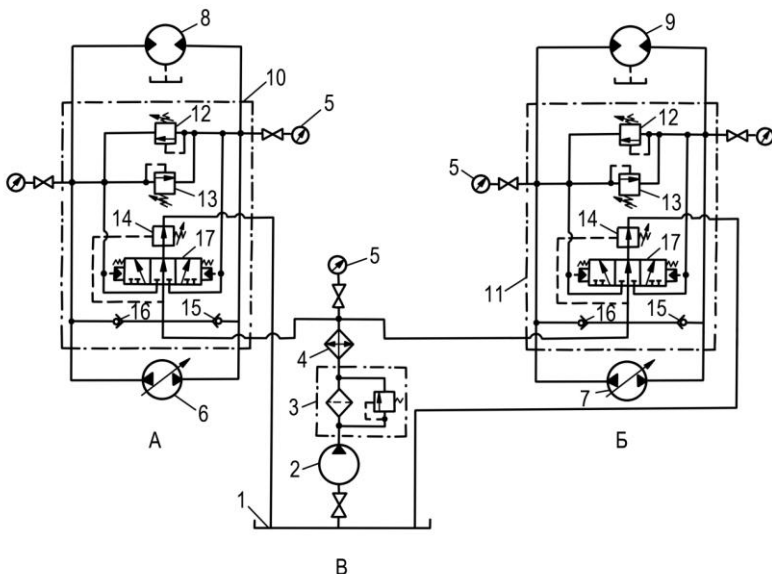


Рисунок 1.17 – Гидросхема колесного тягача:

А – гидроконтур переднего моста; Б – гидроконтур заднего моста; В – гидроконтур подпитки;

1 – бак; 2 – насос нерегулируемый; 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

## 1.4 Специальные самоходные шасси

*Специальные самоходные шасси* используют в качестве несущей (базовой) ходовой системы многих дорожных и строительных машин, обеспечивая их перемещение и привод рабочего оборудования, если нет возможности (по конструктивным или технологическим причинам) использовать двухосные или одноосные шасси. Специальные шасси имеют наиболее рациональную компоновку основных агрегатов и узлов, поскольку их конструируют специально для работы с определенным рабочим оборудованием (экскаватора, погрузчика и др.). 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. Для погрузчиков важным параметром является их маневренность, поэтому для них используют в основном короткую базу. 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 или распределения.

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 1.18).

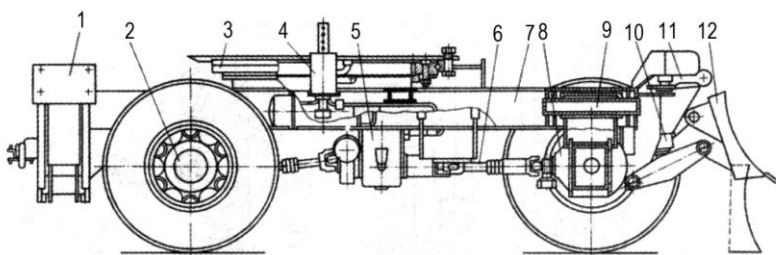


Рисунок 1.18 – Пневмоколесное шасси экскаватора:

- 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 – вошло; 12 – отвал

На раме цельнометаллической конструкции 7 расположены опорно-поворотное устройство 3, отвал 12 и балка откидных опор 1, а также кронштейны для установки заднего моста 2, оси 9 балансирной подвески переднего моста 8, центрального коллектора 4 и вошла 11. Откидные опоры 1 и отвал 12 обеспечивают устойчивость экскаватора при копании.

Типичный пример шарнирно-сочлененной рамы представлен на рисунке 1.19. Передняя 3 и задняя 7 полурамы соединены вертикальным шарниром 4, который обеспечивает поворот рам друг относительно друга на угол  $\pm 40^{\circ}$ . Передняя полурама установлена на переднем мосту 1 неподвижно, а задняя – на заднем мосту 6 на балансирной подвеске, которая обеспечивает качение задней полурамы в вертикальной плоскости на угол  $\pm 12^{\circ}$ .

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.

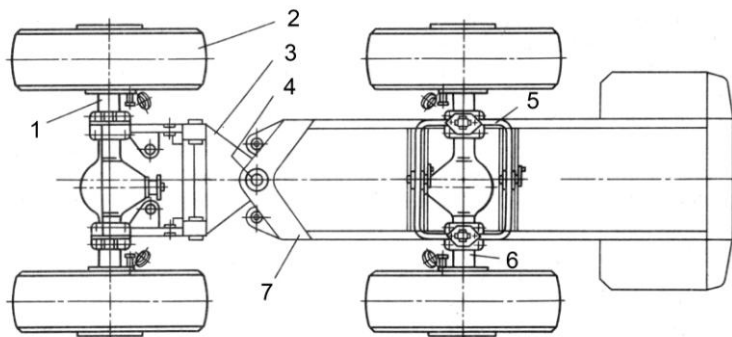


Рисунок 1.19 – Двухосное шасси с шарнирно-сочлененной рамой:  
1, 6 – передний и задний ведущие мосты; 2 – колесо; 3, 7 – передняя и задняя полурамы; 4 – вертикальный шарнир; 5 – балансирующая подвеска

На рисунке 1.20 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 передается на гидротрансформатор 4 и далее на коробку передач 5. В данной схеме коробка передач 5 представляет собой многоступенчатый цилиндрический редуктор, который имеет переключение передач с помощью фрикционных многодисковых муфт с гидравлическим управлением. От коробки передач крутящий момент передается двумя карданными валами 3 на передний 7 и задний 11 ведущие мосты. Ведущий мост 7 состоит из главной передачи с дифференциалом 6, полуосей и двух конечных передач – ступичных планетарных редукторов 8. На ступицах мостов устанавливаются колеса 10, которые получают вращение от редукторов 8. Кроме того, редуктор отбора мощности 2 приводит в действие гидронасосы рабочего оборудования 12 и рулевого управления 9.

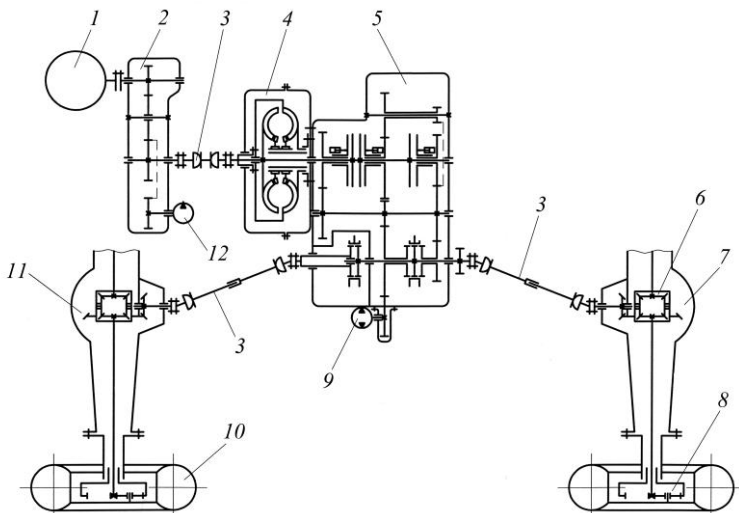


Рисунок 1.20 – Кинематическая схема двухосного шасси колесного погрузчика:

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 трехосного автогрейдера представлен на рисунке 1.21. 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 увеличивается до 1,15 МПа, регулятор открывает слив жидкости по линии 15 в картер 2. Давление в полости гидротрансформатора поддерживается 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 ГТ 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 ГТ и он работает как муфта сцепления.

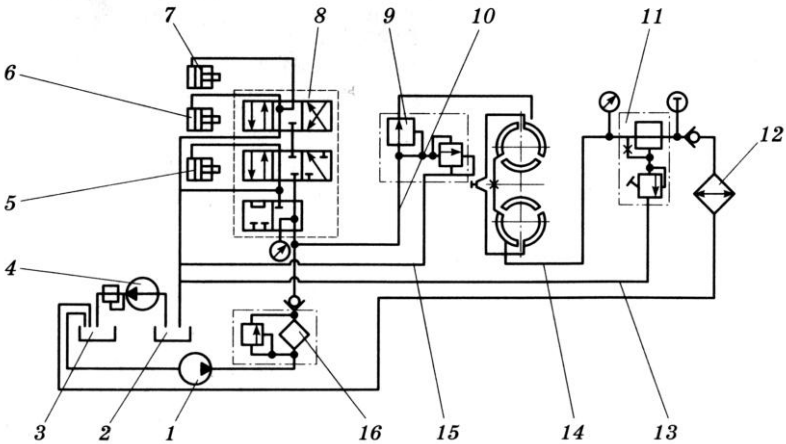


Рисунок 1.21 – Гидросхема гидромеханической коробки передач:

1 – питающий насос; 2 – картер коробки передач; 3 – гидробак; 4 – откачивающий насос; 5–7 – фрикционы; 8 – гидрораспределитель; 9 – регулятор давления; 10 – главная гидролиния; 11 – опорный 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 1.22 представлена кинематическая схема фронтального погрузчика с бортовым поворотом колес, для привода хода которого использован 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.

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.



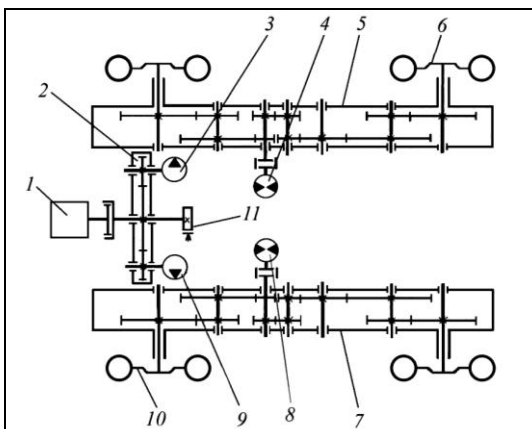


Рисунок 1.22– Кинематическая схема колесного погрузчика с бортовым поворотом:

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

На рисунке 1.23 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 ведущие колеса. Трансмиссия работает следующим образом. На рисунке зубчатая полумуфта 3 находится в нейтральном

положении. Первая передача включается от шестерни 6 на колесо 4, затем при соединении зубчатой полумуфты 3 с шестерней 2 момент передается с шестерни 9 на колесо 11 и на вал 12, далее через полумуфты 1 и 13 на карданные валы. Вторая передача включается также от шестерни 6 на колесо 4, затем через шестерню 7 на колесо 8 при его соединении с зубчатой полумуфтой 3, далее момент передается 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.

В нашей стране ряд унифицированных двухосных шасси обеспечивает передвижение и привод широкому типоразмерному ряду одноковшовых фронтальных погрузчиков, которые выпускает компания «Амкор». 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, ведущие 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.

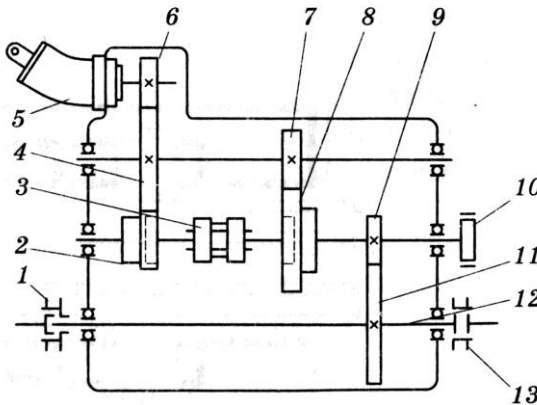


Рисунок 1.23 – Схема гидромеханической трансмиссии с гидромотором:  
 1 – зубчатая полумуфта включения переднего ведущего моста;  
 2, 4, 6, 8, 11 – зубчатые колеса;  
 3 – зубчатая полумуфта переключения передач;  
 5 – гидромотор;  
 7, 9 – валы-шестерни;  
 10 – тормоз;  
 12 – выходной вал;  
 13 – зубчатая полумуфта

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).

Гидромеханическая трансмиссия базового шасси погрузчика включает гидротрансформатор, коробку передач, редуктор отбора мощности, карданные валы, передний и задний унифицированные ведущие мосты. Редуктор отбора мощности обеспечивает передачу вращающего момента от двигателя к коробке передач и независимый привод гидронасосов рабочего оборудования и рулевого управления. Рулевое управление погрузчика со следящей гидравлической обратной связью включает гидравлический руль и два гидроцилиндра, с помощью которых происходит поворот полурам относительно друг друга.

Типичная гидросхема фронтального погрузчика с шарнирно-сочлененной рамой представлена на рисунке 1.24.

Гидросистема состоит из баков 8 с рабочей жидкостью, насосов 9 и 10, распределителей 3, гидроцилиндров управления положением рабочих органов и другого гидрооборудования. Рулевое управление включает гидравлический руль 2 и два гидроцилиндра 1. Поворот рулевого колеса 2 через рулевую колонку и редуктор передается на гидрораспределитель 11 и далее на гидроцилиндры 1, которые обеспечивают поворот одной полурамы относительно другой. Упомянутая следящая система характерна наличием обратной связи между положением штоков гидроцилиндров и положением рулевого колеса.

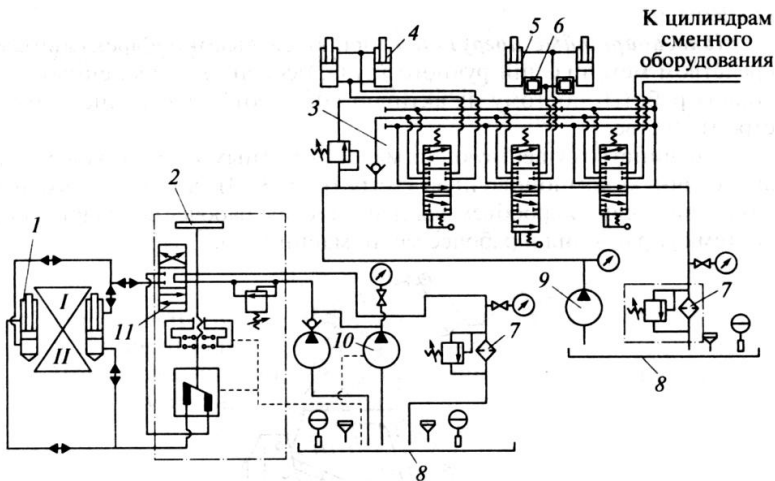


Рисунок 1.24 – Принципиальная гидросхема фронтального погрузчика:

I – передняя полурама; II – задняя полурама;

1 – гидроцилиндр поворота машины; 2 – рулевое колесо; 3 – блок распределителей;

4 – гидроцилиндр поворота ковша; 5 – гидроцилиндр подъема-опускания стрелы;

6 – гидрозамок; 7 – фильтры; 8 – бак с рабочей жидкостью; 9, 10 – гидронасосы;

11 – гидрораспределитель

Примером специального шасси с цельнометаллической рамой может служить самоходный двухосный каток на пневматических шинах (рисунок 1.25).

На цельной несущей раме 20 размещают основное гидрооборудование, балластные емкости 4 и 12, а также различные агрегаты, под рамой – силовую установку 19, в том числе двигатель, раздаточный редуктор и два гидронасоса. Кроме того, рама имеет две шкворневые опоры для установки и поворота вальцов 1 и 18.

Для обеспечения качества уплотнения асфальтобетонных покрытий как передний, так и задний валец должны быть поворотными и ведущими. Оба вальца 1 и 18 имеют одинаковое устройство и оснащены гидромотор-колесами: каждый содержат по четыре пневмоколеса, по два гидромотора и по два ступичных планетарных редуктора.

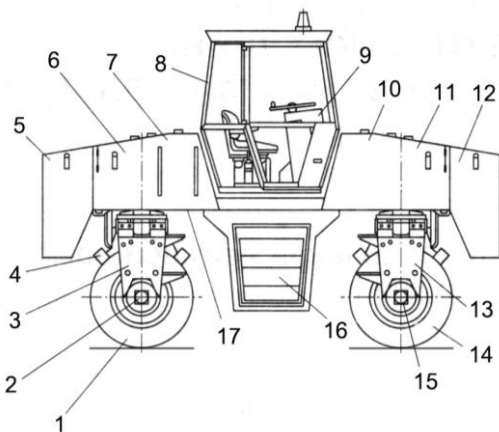


Рисунок 1.25 –  
 Пневмоколесный каток с  
 цельной рамой:  
 1, 14 – пневмоколесные  
 вальцы; 2, 15 – гидромоторы;  
 3, 13 – рамные опоры;  
 4 – скребок и мачивающее  
 устройство; 5, 12 – балластные  
 емкости; 5, 11 – баки для воды;  
 7 – топливный бак;  
 8 – кабина; 9 – рулевой  
 механизм; 10 – гидробак;  
 16 – силовая установка;  
 17 – несущая рама

На рисунке 1.26 представлена гидросхема, общая для пневмоколесных и комбинированных катков. 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 объединены 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 «Kavasaki» разработан типоразмерный ряд (десять 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 используют как для полноразмерных снегоуборочных машин, так и для мини-погрузчиков (при погрузке снега в автотранспорт или при его транспортировке на небольшие расстояния). Так фирма «Kavasaki» выпускает четыре модели мини-погрузчиков с ковшами вместимостью от 0,26 до 0,6 м<sup>3</sup> 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.

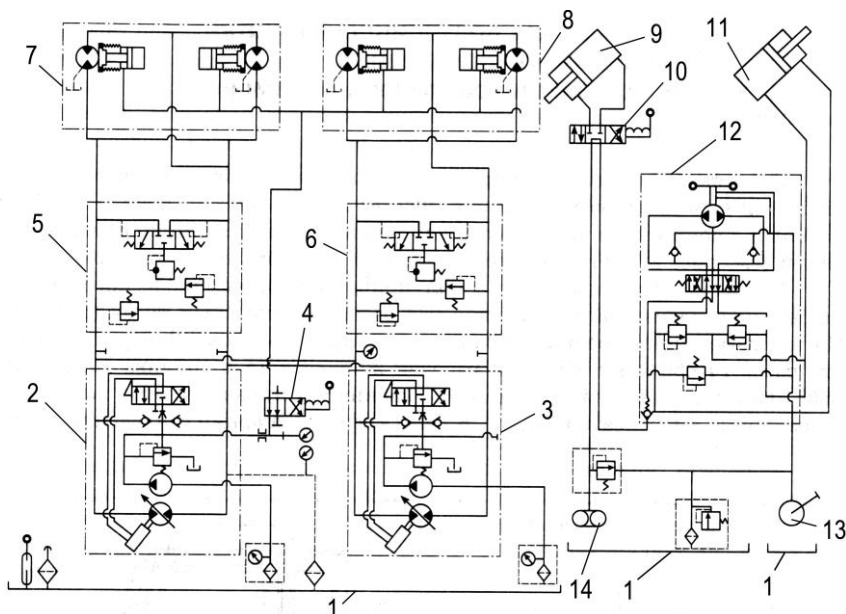


Рисунок 1.26 – Гидросхема катка на пневмошинах:

- 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 обеспечивается 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.

## 1.5 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-цепным устройством (рисунок 1.27) для работы с прицепами и полуприцепами.

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.).

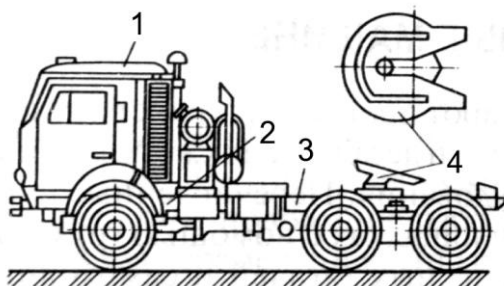


Рисунок 1.27 – Тягач с седельно-сцепным устройством:  
1 – кабина; 2 – двигатель; 3 – шасси; 4 – седельно-сцепное устройство

Одним из примеров использования автомобильных шасси является поливочная машина на базе двухосного автомобиля-тягача (модели МАЗ) с седельным устройством (рисунок 1.28). Рабочее оборудование располагают на полуприцепе, в том числе цистерну и все необходимые узлы и агрегаты, обеспечивающие технологический процесс.

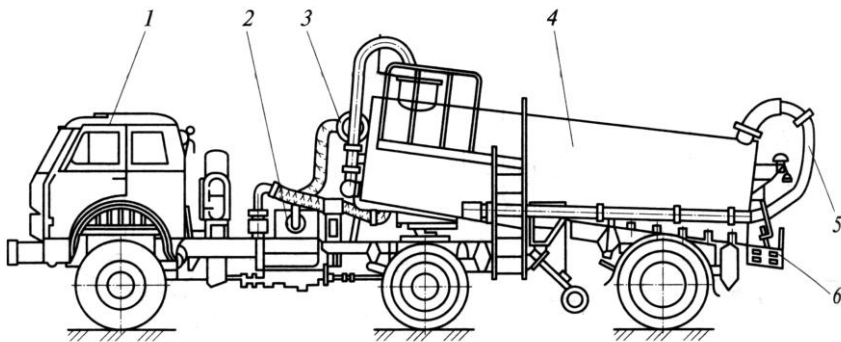


Рисунок 1.28 – Поливочная машина:  
1 – базовое шасси; 2 – вакуумный насос; 3 – газораспределительный клапан; 4 – цистерна; 5 – заборный рукав; 6 – сливное устройство

Автомобильные шасси используют также для ремонта дорожных покрытий по технологии раздельного и синхронного распределения дорожно-строительных материалов (вяжущего и щебня).

Для раздельной технологии применяют *автогудронаторы* и *распределители щебня*, которые устанавливают на шасси грузовых автомобилей. На рисунке 1.29 представлена схема самоходного автогудронатора, основные агрегаты которого (цистерна для вяжущего



3, топливная 6 и распределительная 14 системы) установлены на полуприцепе.

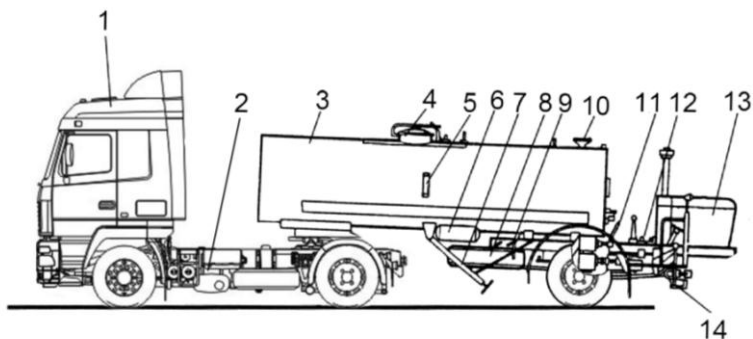


Рисунок 1.29 – Автогудронатор:

1 – базовое шасси; 2 – подрамник; 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

*Распределители щебня* бывают навесными и прицепными. *Навесные щебнераспределители* агрегируют с автомобилями-самосвалами. В частности, навесной распределитель (модели ЩРД-1400 производства ГП «Дорвектор» Молодечно) устанавливают на самосвал (МАЗ-5551) вместо заднего борта кузова и подключают к электро-, пневмо- и гидросистемам автомобиля.

Примером использования автомобильного шасси (МАЗ-5551 и др.) с *прицепным щебнераспределителем* может служить оборудование (рисунок 1.30), смонтированное на раме двухосной тележки. Агрегирование оборудования с базовым автомобилем осуществляют посредством легкоъемного прицепного устройства (дышла) 10, которое связывает обода задних колес самосвала с колесными дисками 7 тележки щебнераспределителя. Такая конструкция позволяет использовать различные базовые машины.

Для реализации технологии синхронного распределения вяжущего и щебня используют *битумощебнераспределители* (БЩР), которые устанавливают на шасси грузового автомобиля, на прицепе и полуприцепе в зависимости от типоразмера основных агрегатов и производительности рабочего оборудования.

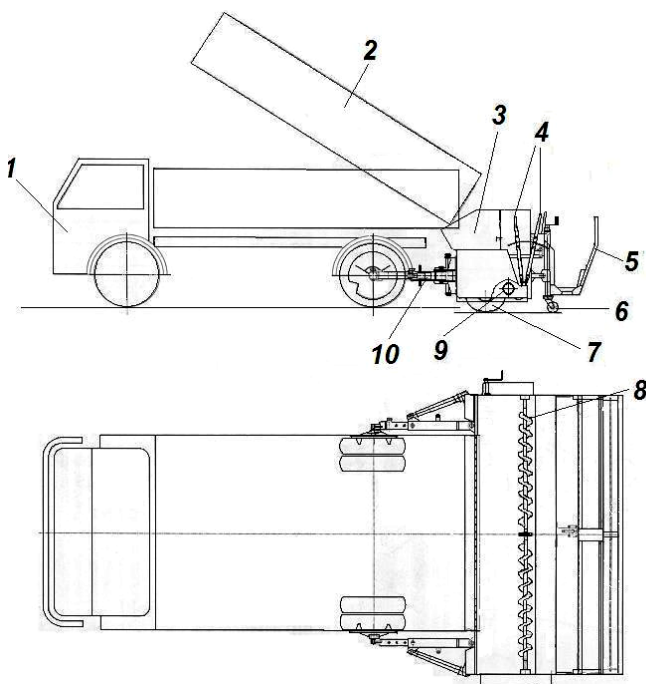


Рисунок 1.30 – Принципиальная схема прицепного щебнераспределителя:  
 1 – базовый самосвал; 2 – кузов; 3 – бункер; 4 – рычаги привода рабочего оборудования; 5 – откидная площадка оператора; 6 – опорное колесо; 7 – приводное опорное колесо; 8 – шнек; 9 – распределительный валок; 10 – дрышло

Например, французская фирма «Secmair» выпускает БЩР различных типоразмеров («Chipsealer– 19,-26, -32 и -40»). Для небольших объемов работ применяют шасси грузовых автомобилей, от двигателя которых приводят рабочее оборудование машины. Например, шасси МАЗ-5551 используют как базу для машины «Chipsealer-19». Более производительной техникой для этих целей являются ремонтные автопоезда. Автопоезд состоит из тягача, на котором смонтирована емкость для вяжущего, и прицепной части, металлоконструкция которой образует бункер с распределителем щебня. В качестве примера автопоезда можно привести БЩР марки ДС-180, конструктивная схема которого приведена на рисунке 1.31, в составе автомобильного тягача 1 (модели КамАЗ-54115) и полуприцепа 8 с рабочим оборудованием.

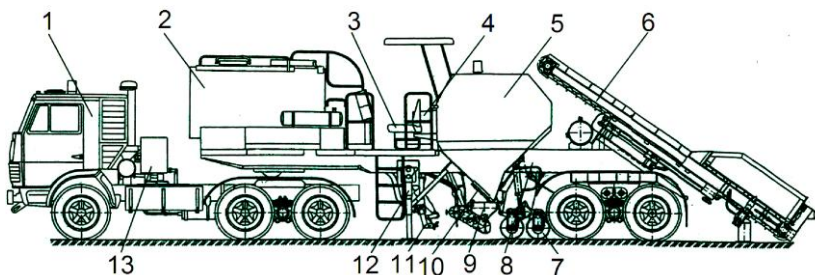


Рисунок 1.31– Битумощебнераспределитель:

1 – тягач; 2 – гудронатор; 3 – площадка оператора; 4 – панель управления; 5 – оборудование для распределения щебня; 6 – погрузчик; 7 – валец для уплотнения щебня; 8 – полуприцеп; 9 – щебнераспределитель; 10 – шибер-дозатор; 11 – распределитель битума; 12 – опорное устройство; 13 – бак с рабочей жидкостью для гидросистемы

Рабочее оборудование приводят от двигателя тягача 1 через коробки отбора мощности 3 и 20 (рисунок 1.32).

В ряде случаев прицепную часть машины оснащают автономным двигателем для привода рабочего оборудования. Например, фирма «Savalco» выпускает автопоезда на шасси трехосных грузовых автомобилей. На базовой машине устанавливают емкость для вяжущего, а на прицепе – автономную силовую установку, от которой приводят все рабочие органы (элеватор, щебнераспределитель, питатель и насос подачи вяжущего и др.).

**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 (комбиходом)*.

Комбиход целесообразно классифицировать по следующим признакам:

1) *по назначению* – для содержания и ремонта автомобильных дорог, для выполнения путевых работ, в качестве тягового модуля на железных дорогах;

2) *по типу базового транспортного средства* – на грузовых автомобилях, колесных и гусеничных тракторах, специальных шасси;

3) по виду привода – направляющие (не приводные) и ведущие с приводом от автономного двигателя и от двигателя базового шасси (через пневмоколеса или через трансмиссии);

4) по типу привода механизма перевода из рабочего в транспортное положение – ручной, механический, гидромеханический и электромеханический;

5) по количеству осей – двух-, трех- и четырехосные;

6) по расположению рабочего оборудования – с передней и задней навеской рабочих органов.

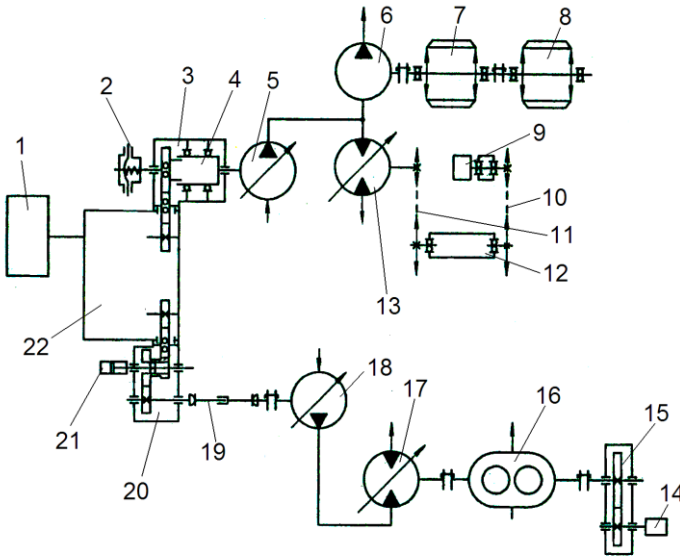


Рисунок 1.32 – Кинематическая схема битумощебнераспределителя:

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 – щебнераспределитель; 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

При движении по рельсам используют различное количество осей колесных пар комбихода в зависимости от назначения и технологии путевых работ. Для увеличения тягового усилия и упрощения постановки машины на рельсы используют двухосные приводные тележки с железнодорожными колесами, установленные в нижней части рамы основного шасси. Неповоротную тележку располагают между осями колес основного шасси, поворотную – позади задней оси

пневмоколес. В ряде случаев применяют обе тележки: неповоротную и поворотную.

Имеется несколько видов привода железнодорожных катков, в их числе привод от двигателя базового шасси (через механические и гидромеханические трансмиссии), а также привод катков непосредственно от ведущих пневмоколес (через цепные и зубчатые передачи, а также через опорно-фрикционные барабаны).

Наиболее часто используют два варианта конструктивного исполнения комбихода. Во-первых, вариант с направляющими (неприводными) катками и приводом хода машины от пневмоколес шасси. В этом случае с рельсами контактируют железнодорожные катки как направляющие элементы и ведущие пневмоколеса (неприводные передние колеса вывешиваются).

Во-вторых, вариант с приводными катками с приводом от пневмоколес через механические передачи и опорно-фрикционные барабаны. В этом варианте с рельсами контактируют железнодорожные катки, а пневмоколеса вывешиваются над рельсами.

Наименее материалоемким и простым по конструкции комбихода является двухосное устройство с четырьмя направляющими (неприводными) колесами, установленное на двух обособленных подпружиненных стойках. Перемещение машины по железной дороге осуществляется за счет сцепления ведущих пневмоколес с рельсами. На рисунке 1.33 представлена схема механизма перевода колесных пар комбихода из рабочего 5 в транспортное 4 положение. При движении по рельсам направляющие катки устанавливают в рабочее положение 5 при помощи привода 1 и гидроцилиндров 3. При движении по автомобильным дорогам колесные пары комбихода переводят в транспортное положение 4.

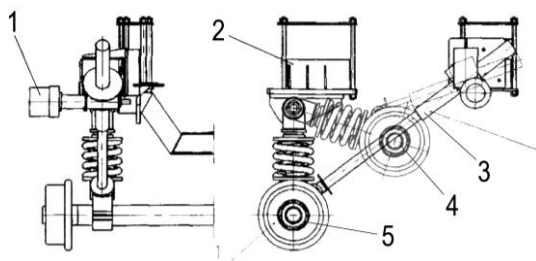


Рисунок 1.33 – Механизм перевода колесной пары комбихода:

- 1 – привод (от гидро- или электродвигателя);
- 2 – кронштейн;
- 3 – гидроцилиндр;
- 4 – колесо в транспортном положении;
- 5 – колесо в рабочем положении

Описанная конструкция комбихода легла в основу разработанных на кафедре «Детали машин, путевые и строительные машины» Белорусского государственного университета транспорта по заказу

Департамента транспортных войск Министерства обороны Республики Беларусь в рамках программы Союзного государства «Создание единой системы технического прикрытия железных дорог региона» [11] комбинированных шасси, которые представлены на рисунках 1.34 и 1.35.

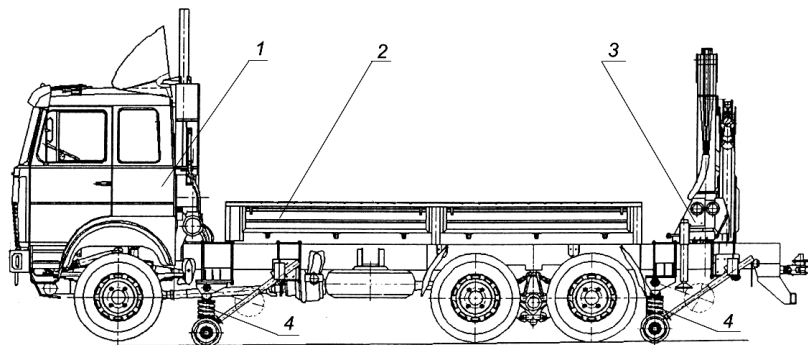


Рисунок 1.34 – Машина на комбинированном ходу на базе шасси МАЗ-630308:  
1 – шасси МАЗ-630308; 2 – грузовая платформа; 3 – гидроманипулятор; 4 – комбинированный ход

Транспортное средство на комбинированном ходу на базе шасси МАЗ-630308 (см. рисунок 1.34) предназначено для круглогодичного содержания дорог, выполнения погрузочно-разгрузочных работ, благоустройства территорий, обслуживания мостовых и тоннельных сооружений на автомобильных и железнодорожных коммуникациях, а также ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций различного характера.

Такую же конструкцию комбихода имеет машина комбинированная железнодорожная МКЖ-416 на базе шасси Ш-406 «Беларус» (рисунок 1.35).

Следует отметить, что разработанный вариант комбихода получил наибольшее распространение в отечественной и зарубежной технике. В частности, подобную конструкцию комбихода имеют шасси Ш-446-01 «Беларус» и шасси МУ-466 «Беларус», которые производит ОАО «Минский тракторный завод».

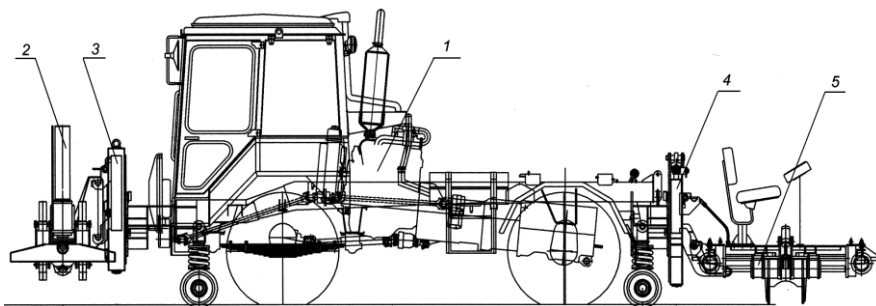


Рисунок 1.35 – Машина комбинированная железнодорожная МКЖ-416  
на базе шасси Ш-406 «Беларус»:

1 – шасси «Беларус» Ш-406; 2 – подъемно-рихтовочный блок; 3 – передняя навеска;  
4 – задняя навеска; 5 – блок для установки шпал по меткам и разгонки стыковых зазоров

Данный вид ходовых систем располагает широкими технологическими возможностями, поскольку его используют для круглогодичного содержания автомобильных дорог и железнодорожного пути колеи 1520 мм.

## **2 МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛЕТНЕГО СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ГОРОДСКИХ ДОРОГ**

### **2.1 Особенности технологических процессов**

Работы по летнему содержанию дорог играют важную роль в обеспечении нормального технического состояния дорог. 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:

- 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);
- содержание дорожной одежды дорог (мойка и полив, очистка);
- 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 дорог.

## **2.2 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:

1) *по назначению* – поливочные, моечные и универсальные поливомоечные машины;

2) *по типу шасси* – самоходные (на серийном автомобильном или специальном шасси) и прицепные (на грузовых прицепах или полуприцепах);

3) *по типу насосной установки* – с низким (до 1 МПа) и высоким (более 1 МПа) давлением воды;

4) *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 2.1. 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.

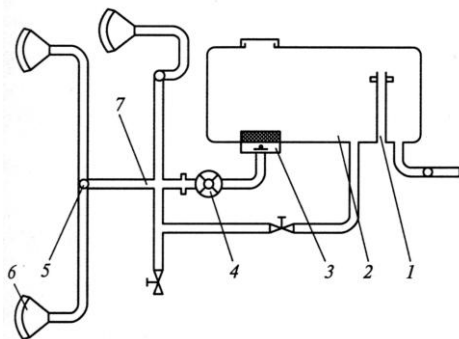


Рисунок 2.1 – Схема подачи воды в ПММ:

- 1 – контрольная сливная труба;
- 2 – цистерна; 3 – центральный клапан с фильтром;
- 4 – центробежный насос;
- 5 – разводочный насадок;
- 6 – насадок; 7 – напорный трубопровод

ПММ, как правило, оборудуют сменными рабочими органами в виде щелевых поливочных и моечных насадков. 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.

Прицепные ПММ обладают ограниченным набором рабочих органов. Их обычно используют для поливомоечных операций. В таблице 2.1 представлены технические характеристики прицепных ПММ на базе МТЗ-80/82, разработанные и укомплектованные различными производителями.

ПММ могут быть оснащены водяной моечной рампой в виде распределительной горизонтальной трубы с форсунками, установленной под углом в плане  $70-80^{\circ}$  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.

*Таблица 2.1 – Технические характеристики поливомоечных машин на базе МТЗ*

Параметр	ПМ-3	ПО-451	МВТ-3,5
Объем цистерны, м <sup>3</sup>	3,0	4,5	3,5
Рабочее давление, МПа	–	1,07	0,3
Ширина полосы, м: при мойке при поливке	4,0–6,0 4,0–6,0	5,0 13,0	5,0 16,0
Скорость, км/ч: рабочая транспортная	10,0 30,0	10,0 30,0	10,0 30,0
Число осей	1	1	1
Габариты, мм: длина ширина высота	4200 2100 2600	4700 2200 2400	4500 2500 2500

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 2.2 представлены различные схемы поливомоечного оборудования.

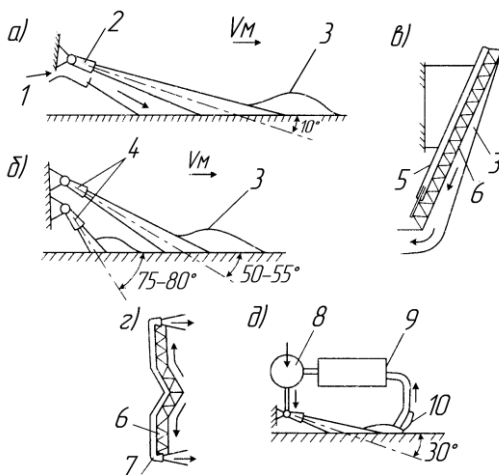


Рисунок 2.2 – Схемы оборудования, интенсифицирующего воздействие воды на покрытие:

- 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 – моющий 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 2.2, *а*), различные конструкции водяной рампы, которые обеспечивают более эффективную очистку поверхности покрытия (рисунок 2.2, *б*–*г*), а также оборудование для повторного использования воды (рисунок 2.2, *д*). Давление воды в рампах достигает 2 МПа, что обеспечивает высокую скорость воды на выходе из форсунок и эффективную очистку обрабатываемой поверхности дорожного покрытия.

Примером самоходной ПММ может служить комбинированная дорожная машина модели МКДС, которая установлена на шасси грузового автомобиля МАЗ. На рисунке 2.3 представлена принципиальная схема машины. На шасси 4 располагают рабочее оборудование, которое включает цистерну для воды 2, гидрофицированный насосный агрегат для воды 9, сменную водяную рампу 5 с форсунками подачи воды под высоким давлением, а также цилиндрическую подметальную щетку 3. Привод центрального водяного насоса осуществляют гидромотором от гидронасоса через коробку отбора мощности.

Навесное поливомоечное оборудование (в виде рампы) устанавливают в передней части машины. Оно представляет собой рамную конструкцию, оснащенную гидрофицированным механизмом подъема-опускания, гребенкой (горизонтальной распределительной

трубой с форсунками), боковыми форсунками, ручным моечным пистолетом и др. Кроме того, машину оснащают цилиндрической щеткой.

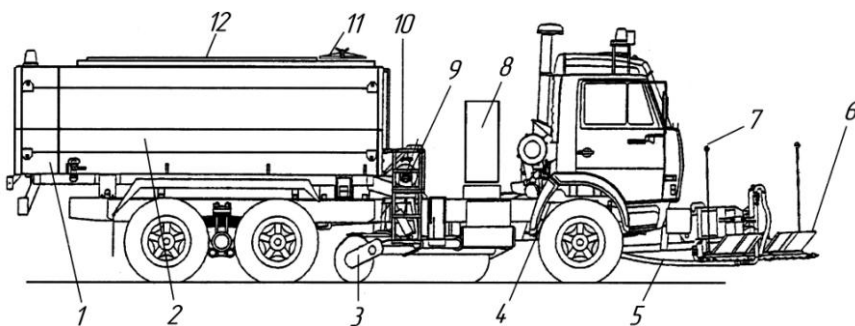


Рисунок 2.3 – Комбинированная дорожная машина на шасси МАЗ:

1 – подрамник; 2 – цистерна; 3 – подметальная щетка; 4 – шасси; 5 – водяная раampa; 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 2.4. Вода из цистерны 5 через фильтр 7 при помощи насоса 8, создающего давление до 2 МПа, поступает в распределительную систему, оснащенную гребенкой 1 с фронтальными форсунками и набором боковых форсунок 2 малого диаметра, и затем, вырываясь из форсунок с высокой скоростью, очищает обрабатываемую поверхность. Моечное оборудование также комплектуется моечным пистолетом 3, оснащенный единичной форсункой, для ручной мойки труднодоступных поверхностей покрытий струей воды высокого давления.

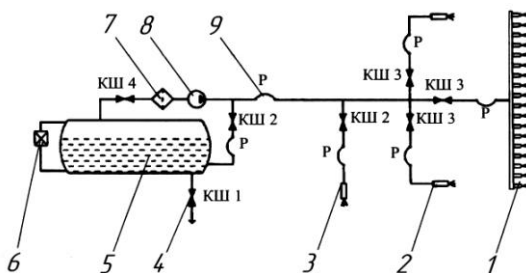


Рисунок 2.4 – Схема движения воды в системе поливомоечного оборудования машины:  
1 – гребенка с форсунками; 2 – боковая форсунка; 3 – ручной пистолет для мойки; 4 – кран шаровой запорный; 5 – цистерна для воды; 6 – уровень воды; 7 – фильтр; 8 – водяной насос; 9 – рукав резиновый (КШ – кран шаровой; P – 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 2.2 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 2.1 и 2.2. Тракторы МТЗ (см. таблицу 2.1) и автомобили МАЗ (см. таблицу 2.2) являются базой многих машин для очистки и увлажнения дорожных покрытий.

**Таблица 2.2 – 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 <sup>3</sup>	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. Поливороосительная машина содержит цистерну для воды вместимостью 32000 л, установленную на специальной раме, многоступенчатый 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  $70^{\circ}$ . 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, оснащенных 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 мойки 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 2.5 представлен рабочий орган щеточного оборудования, на который подают воду самотеком из цистерны, установленной на прицепе. Он состоит из двух цилиндрических щеток 6, которые приводятся в движение 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.

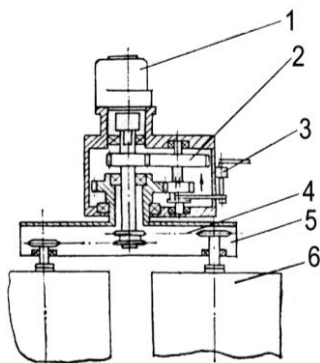


Рисунок 2.5 – Рабочий орган машины для мойки обстановки:  
1 – гидромотор; 2 – редуктор;  
3 – механизм переключения;  
4 – цепная передача; 5 – коромысло;  
6 – щетка

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 2.6.

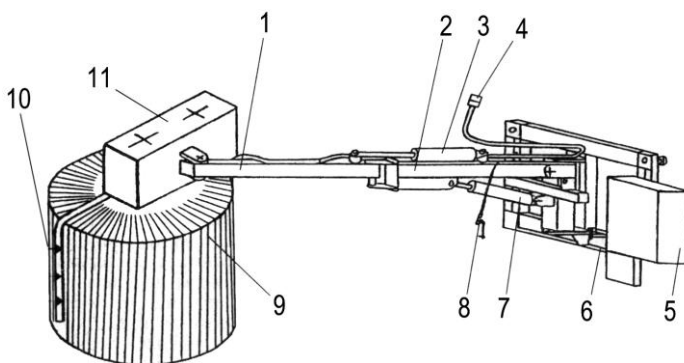


Рисунок 2.6 – Рабочий орган машины для мойки ограждений:  
1, 2 – части стрелы; 3 – гидроцилиндр складывания; 4 – быстроразъемная гидромуфта; 5 – гидроблок; 6 – рама щетки; 7 – гидроцилиндр подъема-опускания; 8 – трос; 9 – щетка; 10 – форсунки; 11 – гидромотор

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 2.7).

Одним из эффективных направлений развития техники для содержания дорожных покрытий является создание и применение универсальных машин на базе единого энергетического модуля (автомобильного или специального шасси, колесного трактора) с разработкой сменных адаптеров для проведения различных дорожных работ. На рисунке 2.7 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.

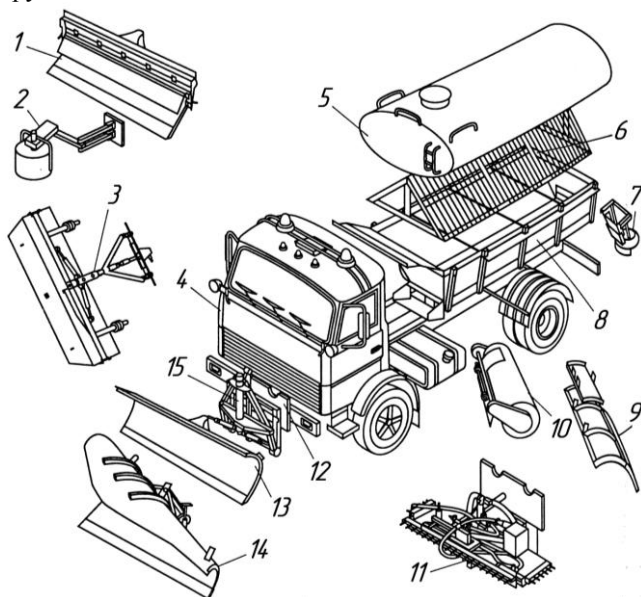


Рисунок 2.7 – Комбинированная машина для содержания дорожных покрытий:

- 1 - отвал; 2 - щетка для мойки ограждений; 3 - передняя подметальная щетка;  
4 - базовое шасси; 5 - цистерна; 6 - сортирующая решетка; 7 - разбрасывающий механизм; 8 - самосвальный 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 2.4).

В ПММ используют унифицированные однотипные насадки, независимо от их назначения. *Площадь выходного отверстия*  $S$  (м<sup>2</sup>) насадка зависит от расхода воды и ее напора при выходе из насадка. Ее определяют по формуле

$$S = \frac{qBv}{1000\mu\sqrt{2gH}}, \quad (2.1)$$

где  $q$  – удельный расход воды при мойке или при поливе, л/м<sup>2</sup>,

$$q = \begin{cases} 1,0 & \text{– при поливе,} \\ 0,25 & \text{– при мойке;} \end{cases}$$

$B$  – 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,

$$v = \begin{cases} 3 \dots 6 & \text{– при мойке,} \\ 5 & \text{– при поливе;} \end{cases}$$

$\mu$  – коэффициент расхода воды,  $\mu = 0,85 \dots 0,95$ ;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$H$  – 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 (Н) струи воды*

$$P = \frac{1}{2} \rho Q_n (1 + \cos \alpha) \sqrt{2\varphi^2 gH + v^2 + 2\varphi v \cos \beta} \sqrt{2gH}, \quad (2.2)$$

где  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$Q_n$  – расход воды через моечный насадок в единицу времени, м<sup>3</sup>/с;

$\alpha$  – угол между направлением движения струи и дорожным покрытием;

$\varphi$  – коэффициент скорости насадка,  $\varphi = 0,9$ ;

$\beta$  – угол между направлениями движения струи воды и машины.

За критерий  $p_c$  (Н с/м<sup>2</sup>) ударного смывающего действия воды принимают силу  $P$ , действующую на площадь покрытия в единицу времени:

$$p_c = \frac{P}{b_{\text{стр}}v}, \quad (2.3)$$

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  $N_{\text{н}}$ :

$$N_{\text{раб}} = N_{\text{пер}} + N_{\text{н}}, \quad (2.4)$$

*Мощность* (кВт), *необходимую для передвижения машины в рабочем режиме*, определяют по формуле

$$N_{\text{пер}} = \frac{(f_c + i_y)Gv}{1000\eta_{\text{тр}}}, \quad (2.5)$$

где  $f_c$  – коэффициент сопротивления качению,  $f_c = 0,02$ ;

$i_y$  – индекс уклона, зависящий от скорости движения машины,

$$i_y = 0,01 \dots 0,04;$$

$G$  – сила тяжести машины с полной цистерной, Н;

$\eta_{\text{тр}}$  – КПД ходовой трансмиссии машины с рабочей скоростью.

*Мощность* (кВт), *необходимая для привода центробежного водяного насоса*,

$$N_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{н}}P_{\text{н}}}{1000\eta_{\text{пр}}\eta_{\text{н}}}, \quad (2.6)$$

где  $Q_{\text{н}}$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$p_n$  – давление, создаваемое насосом, Па;

$\eta_{np}$  – КПД привода насоса,

$\eta_n$  – гидравлический КПД насоса.

Для эксплуатации машины в рабочем режиме необходимо, чтобы выполнялось неравенство

$$N_{cy} \geq N_p, \quad (2.7)$$

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

$$N_{cy} = \frac{N_p}{k_{сн}}, \quad (2.8)$$

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

$$N_{cy} \geq \frac{(f_c + i_y)Gv_{тр}}{1000\eta_{тр}}, \quad (2.9)$$

где  $v_{тр}$  – транспортная скорость машины, м/с;

$\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии машины при движении с транспортной скоростью.

*Эксплуатационную производительность* ПММ (м<sup>2</sup>/ч) рассчитывают по формуле

$$P_3 = 3600 \frac{k_b k_n \rho V_{ц}}{q T_{ц}}, \quad (2.10)$$

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, м<sup>3</sup>;

$T_{ц}$  – 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,

$$T_{ц} = t_{раз} + t_{нап} + t_{пер} + t_{всп} \cdot \quad (2.11)$$

В свою очередь, *время разлива*

$$t_{раз} = \frac{k_n k_p \rho V}{Bq\nu}, \quad (2.12)$$

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*

$$k_{эф} = \frac{m_{исх} - m_{обр}}{m_{исх}}, \quad (2.13)$$

где  $m_{исх}$  – масса (исходная) загрязнений на покрытии до мойки, кг;

$m_{обр}$  – масса загрязнений на покрытии после обработки, кг.

Обработку считают качественной, если  $k_{эф} = 0,8 \dots 0,9$ .

### 2.3 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 машины;
- 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 методу обеспыливания* – с влажным, термовлажным и пневматическим обеспыливанием;
- 5) *по способу разгрузки бункера* – со свободной, принудительной и контейнерной разгрузкой.

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 2.7).

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 торцевых 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.

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 2.7).

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 воре отбрасывал смет от края лотка к центру машины под цилиндрическую щетку. Их также используют для очистки полосы дороги у бордюров.

Транспортирование смета в накопительный бункер производят следующими методами (рисунок 2.8).

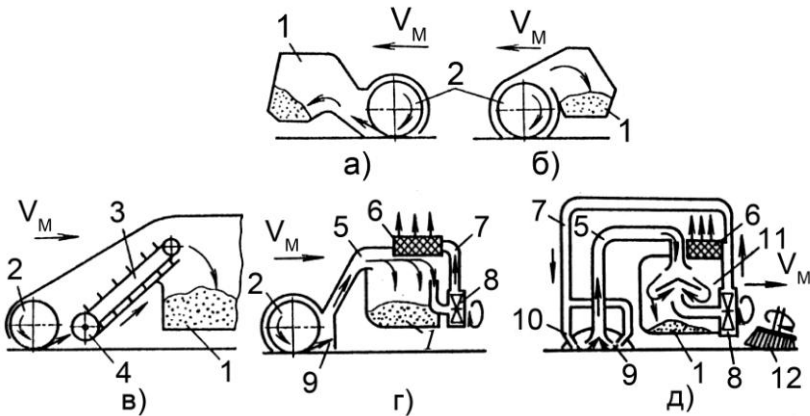


Рисунок 2.8 – Схемы рабочего оборудования подметально-уборочных машин:

*a, б* – с прямым и обратным забросом смета в бункер; *в* – со шнековым и скребковым транспортерами; *г* – со щеточно-вакуумным подборщиком; *д* – со струйно-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* – сдувающее сопло; *11* – циклон; *12* – лотковая щетка



Во-первых, прямым или обратным забросом смета в бункер непосредственно щеткой (рисунок 2.8, а, б). Такую схему используют в малогабаритных машинах, в которых отсутствуют специальные устройства загрузки бункера.

Во-вторых, механической подачей смета в бункер при помощи ленточных, скребковых и шнековых конвейеров. Эту двухступенчатую схему переноса смета используют в машинах больших типоразмеров. Например, смет при помощи цилиндрической щетки попадает (рисунок 2.8, в) на приемный лоток шнекового подборщика и далее по скребковому конвейеру в бункер.

В-третьих, пневмовакуумным устройством (рисунок 2.8, 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 (рисунок 2.8, в) долгое время была наиболее распространенной в дорожной технике. Такую схему используют как в прицепном, так и в самоходном варианте конструкций ПУМ.

В таблице 2.3 приведены технические характеристики прицепных ПУМ на базе трактора МТЗ-80/82, выпущенные в СНГ различными производителями. Все машины снабжены центральной цилиндрической и двумя лотковыми щетками с механической подачей смета в бункер. Только модель АПВ-4 оснащена дополнительным автономным двигателем, который приводит рабочее оборудование. В остальных моделях эту функцию выполняет основной двигатель трактора.

Ведущие производители разрабатывают машины, которые специализируются на очистке различных дорожных объектов, в том числе тротуаров, скоростных дорог и магистральных улиц, а также взлетно-посадочных полос аэропортов.

**Таблица 2.3 – Технические характеристики прицепных подметально-уборочных машин**

Параметр	ПУМ-80	АПВ-4*	ПУМА	Чистогор	Schmidt Broddway Wasa Combi
Объем бункера, м <sup>3</sup>	2,2	3,2	1,8	3,0	3,0
Объем цистерны, м <sup>3</sup>	1,5	-	1,1	0,85	1,1
Ширина полосы очистки, м	2,2	1,85	2,0-2,6	2,7	2,3-2,7
Диаметр центральной щетки,	700	700	700	700	700

мм					
Число лотковых щеток	2	2	2	2	2
Скорость, км/ч:					
рабочая	10	0,3–10,0	2–15	0,3-20,0	1-20
транспортная	30	25	25	25	25
Масса полная, т	–	7,5	6,0	6,5	7,0
Габариты, мм:					
длина	–	4800	–	4140	4530
ширина	–	1950	–	2320	1900
высота	–	2870	–	2100	2000
* Машина имеет дополнительный ДВС мощностью 20 кВт					

В качестве примера прицепного варианта на рисунке 2.9 показана отечественная подметально-уборочная машина МП-101 с механической подачей смета в кузов буксирующего самосвала.



Рисунок 2.9 – Общий вид подметально-уборочной машины МП-101

Конструктивно (рисунок 2.10) машина представляет собой одноосный прицеп к буксирующему самосвалу. Она имеет автономный ДВС мощностью 60 кВт, который приводит гидросистему машины. Привод всех исполнительных механизмов – гидравлический. Управление рабочими органами при очистке дорожного покрытия производится с переносного дистанционного пульта управления из кабины буксирующего самосвала.

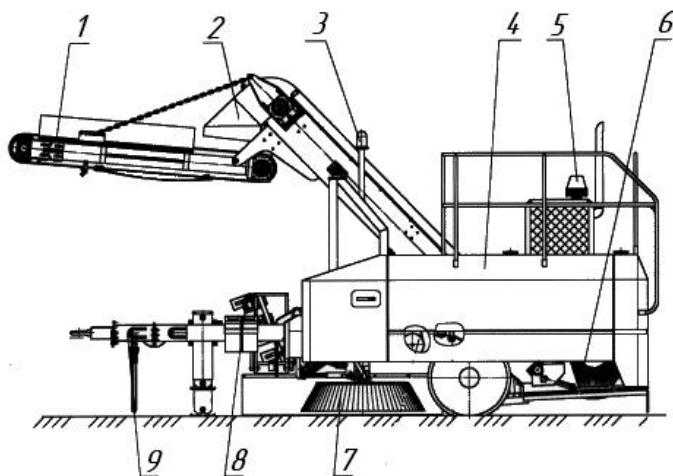


Рисунок 2.10 – Конструктивная схема прицепной подметально-уборочной машины МП-101 с механической загрузкой бункера:

1 – ленточный транспортер; 2 – скребковый элеватор; 3 – электрооборудование; 4 – система орошения; 5 – автономная силовая установка; 6 – задняя цилиндрическая щетка; 7 – боковая лотковая щетка; 8 – пług или дополнительная щетка; 9 – дышло

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 при помощи транспортера 1 загружают в кузов буксирующего самосвала. Система орошения 4 служит для увлажнения пыли во время работы машины. Пług 8 предназначен для разрыхления слежавшегося мусора у бордюров. После загрузки самосвала машину перецепляют к другому самосвалу, обеспечивая непрерывность процесса уборки.

Максимальная ширина очищаемой полосы составляет 2500 мм при скорости до 20 км/ч.

Примером самоходного варианта является подметально-уборочная машина (модели ПУМ-69-03), конструктивная схема которой приведена на рисунке 2.11. 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 600–700 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.

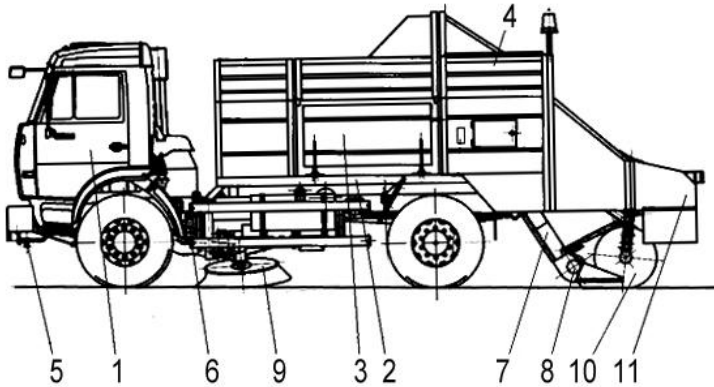


Рисунок 2.11 – Конструктивная схема самоходной подметально-уборочной машины с механической загрузкой бункера:

- 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 он подхватывается скребками и забрасывается в бункер 3. Разгрузку бункера производят самосвальным способом вбок (на левую сторону) при помощи гидроцилиндров.

На рисунке 2.12 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.

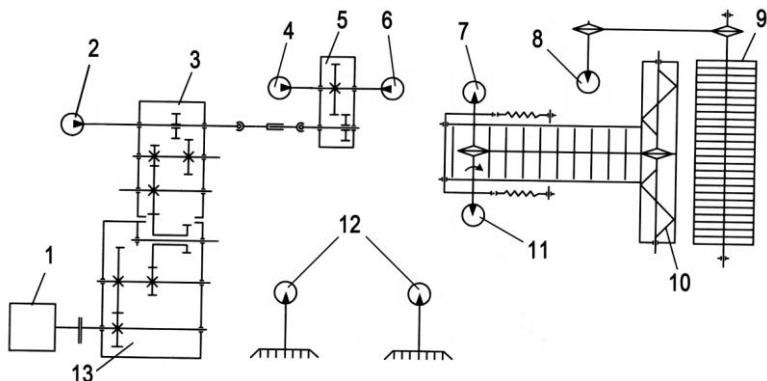


Рисунок 2.12 – Кинематическая схема машины с механической загрузкой бункера:

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

Схема со щеточно-вакуумным подборщиком (см. рисунок 2.8, з) реализована в моделях ведущих производителей дорожной техники. В таблице 2.4 приведены технические характеристики ПУМ на автомобильном шасси (МАЗ и КамАЗ) с вакуумной загрузкой смета в бункер.

Примером щеточно-вакуумной ПУМ может служить самоходная машина модели BUCHER-Cityfant 6000 на шасси МАЗ, конструктивная схема которой представлена на рисунке 2.13. На раме автомобиля установлено специальное оборудование: бункер-мусоросборник вместимостью 6 м<sup>3</sup>, стойка с вакуумным подборщиком, вакуумный вентилятор и его привод, бак с водой объемом 2000 л и водяной насос, дополнительный двигатель рабочего оборудования мощностью 75 кВт и агрегаты гидросистемы.

Машина имеет следующие рабочие органы: центральную косо установленную цилиндрическую щетку 400×1500 мм, предназначенную для очистки дорожного покрытия и подачи смета в зону действия вакуумного подборщика; торцевую лотковую щетку диаметром 700 мм, которая служит для очистки лотка от смета и его переноса к подборщику; вакуумное оборудование, состоящее из подборщика (с всасывающим соплом, эластичным рукавом и резиновыми изолирующими зону обработки фартуками) и вакуумного вентилятора; бункер-мусоросборник с отбойным щитом, фильтром и механизмом его загрузки; напорный воздуховод.

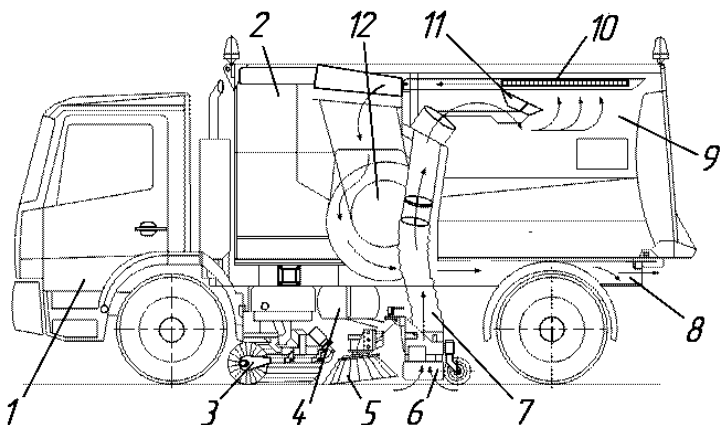


Рисунок 2.13 – Схема щеточно-вакуумной подметально-уборочной машины:  
 1 – базовое шасси; 2 – двигатель вакуумно-подметального оборудования; 3 – цилиндрическая щетка; 4 – водяной бак системы обеспыливания; 5 – боковая лотковая щетка;  
 6 – всасывающий растроб вакуумного подборщика со встроенным закрылком для подборки крупногабаритного мусора; 7 – эластичный всасывающий канал; 8 – напорный канал для выброса воздуха; 9 – бункер; 10 – фильтрующий экран; 11 – направляющая пластина и дефлектор; 12 – вакуумный вентилятор

Принцип работы машины заключается в следующем: центральная цилиндрическая 3 и боковые лотковые 5 щетки подают смет в зону действия всасывающего сопла подборщика 6, разрежение в котором создает вакуумный вентилятор 12. Смет через эластичный рукав 7 поступает на направляющую пластину и дефлектор 11, отражается от него и попадает в бункер 9. Вакуумный вентилятор установки отсасывает воздух из бункера через канал, соединенный с фильтром 10. После этого очищенный воздух по напорному отводному каналу 8 под бункером попадает в атмосферу.

Все агрегаты машины приводят двигатель несущего шасси и дополнительный автономный двигатель вакуумно-подметального оборудования. 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.

Таблица 2.4 – Технические характеристики самоходных подметально-уборочных машин

Параметр	ПУ-95В	КО-326	КО-318	Bucher 60	ЭД-244	SK-650KM-23001
Базовое шасси	КамАЗ-43253	МАЗ-5337	КамАЗ-43253	МАЗ 5551	КамАЗ-53215	МАЗ 5551
Мощность двигателя, кВт: шасси рабочего оборудования	176 90	165 100	176 100	165 75	191 –	165 62
Ширина зоны уборки, мм	2500	2500	2600	2300	2120	–
Вместимость, м <sup>3</sup> : бака для воды, бункера для смета	1,6 6,0	1,2 6,0	2,2 7,0	1,5 6,0	1,29 4,4	1,3 7,0
Габариты, мм: длина ширина высота	7120 2430 3050	6700 2500 3250	7500 2500 3500	6700 2500 3250	–	6700 2500 3250
Скорость, км /ч: рабочая транспортная	4,5–20,0 80	2–8 80	2–8 60	2–8 80	3 –	2–8 80
Полная масса, т	15,2	19,0	14,5	15,0	20,5	17,6

Подметально-уборочное оборудование подвешивают на шарнирных кронштейнах, что обеспечивает рабочее или транспортное положение щеток. Два опорных колеса удерживают рабочее оборудование на постоянном уровне над дорожным покрытием. Оборудование лотковой щетки устанавливают на держателе всасывающего раструба.

Управление работой закрылка для подборки крупного мусора осуществляет водитель с пульта управления в кабине машины.

Водяной бак системы обеспыливания располагают в нижней части бункера. Люк для визуального контроля заполнения бункера для сбора мусора и состояния фильтра монтируют на боковой стенке бункера. Кроме того, этот люк служит также для ручного складирования крупного мусора.

Для осаждения пыли применяют водяную систему обеспыливания. Распыление воды осуществляют на покрытие и на подметальные щетки водяным насосом из форсунок, установленных на подметальном оборудовании и внутри всасывающих каналов вакуумного оборудования.

Один из вариантов конструктивной схемы вакуумного подборщика (рисунок 2.14) 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. Цилиндрическую щетку устанавливают на штанге 5, закрепленной на передней стенке 2, и приводят во вращение гидромотором 10.

Более широкими технологическими возможностями располагает отечественная щеточно-вакуумная машина (модели АКСМ 520101) на шасси МАЗ. Она 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 м<sup>3</sup>.

*Расчет ПУМ* включает выбор базовой машины, оценку параметров взаимодействия рабочих органов с дорожным покрытием, тяговые расчеты, определение баланса мощности, расчеты систем транспортирования смета, его обеспыливания и разгрузки, прочностные расчеты и др.

Определение баланса мощности машины с наиболее распространенной двухступенчатой схемой механического переноса смета зависит от используемого метода увлажнения.



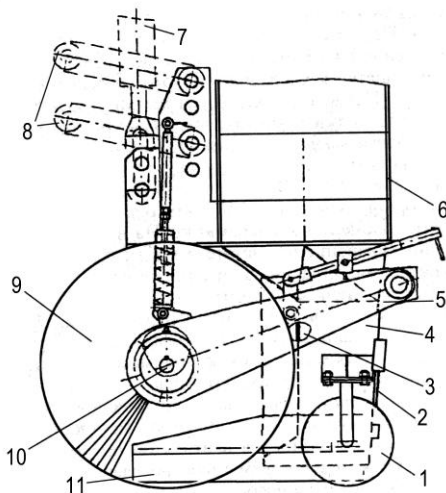


Рисунок 2.14 – Вакуумный подборщик:

- 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

Для машины, работающей с увлажнением, суммарная мощность  $N$  (кВт) состоит из следующих компонентов:

$$N = N_{\text{щц}} + N_{\text{лщ}} + N_{\text{нас}} + N_{\text{тр}} + N_{\text{пер}}, \quad (2.14)$$

где  $N_{\text{щц}}$  – мощность привода цилиндрической щетки, кВт;

$N_{\text{лщ}}$  – мощность привода лотковой щетки, кВт;

$N_{\text{тр}}$  – мощность привода транспортирующего устройства (механического или пневматического действия), кВт;

$N_{\text{пер}}$  – мощность привода хода машины, кВт.

*Мощность привода цилиндрической щетки*

$$N_{\text{щц}} = N_{\text{трэн}} + N_{\text{деф}}, \quad (2.15)$$

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  $N_{\text{трэн}}$  (кВт) для преодоления сил трения*

$$N_{\text{трени}} = \frac{\mu_{\text{в}} W_{\text{пр}} (\nu_{\text{ф}} + \nu_{\text{ш}})}{1000 \eta_{\text{ш}}}, \quad (2.16)$$

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;

$\nu_{\text{ф}}$  – фактическая скорость машины, м/с;

$\nu_{\text{ш}}$  – окружная скорость конца ворса, м/с;

$\eta_{\text{ш}}$  – КПД привода щетки.

*Силу прижатия* (Н) рассчитывают по формуле

$$W_{\text{пр}} = 5,3 \cdot 10^2 dz_{\text{в}} h_{\text{в}}^{\frac{1}{3}} \left( \frac{EJ}{L} \right)^2 [1 + 0,18(\nu_{\text{ш}} - 2)] \arccos \left( 1 - \frac{h_{\text{в}}}{R_{\text{ш}}} \right), \quad (2.17)$$

где  $d$  – диаметр волокна ворса, м,

$$d = \begin{cases} (4 \dots 5) 10^{-4} & \text{– для стального ворса,} \\ (2 \dots 4) 10^{-3} & \text{– для синтетического;} \end{cases}$$

$z_{\text{в}}$  – 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, м<sup>4</sup>;

$L$  – свободная длина ворсинки, м;

$R_{\text{ш}}$  – радиус щетки, м.

*Число одновременно деформированных ворсинок*

$$z_{\text{в}} = \frac{5,5 b_{\text{ш}} \nu_{\text{ф}}}{\beta_{\text{в}} d \nu_{\text{ш}}}, \quad (2.18)$$

где  $b_{\Pi}$  – ширина полосы обработки щеткой, м;

$\beta_{\text{в}}$  – угол поворота ворсинки от вертикального положения при контакте с покрытием, рад.

*Соотношение скоростей*  $\left(\frac{v_{\text{ф}}}{v_{\text{щ}}}\right)$  выбирают в зависимости от типа и состояния цилиндрической щетки.

Для новой щетки:

$$\frac{v_{\text{ф}}}{v_{\text{щ}}} = \begin{cases} 0,50 - \text{с прямым забросом,} \\ 0,29 - \text{с обратным забросом.} \end{cases}$$

Для изношенной щетки:

$$\frac{v_{\text{ф}}}{v_{\text{щ}}} = \begin{cases} 0,83 - \text{с прямым забросом,} \\ 0,22 - \text{с обратным забросом.} \end{cases}$$

*Угол поворота*  $\beta_{\text{в}}$  (рад) ворсинки определяют из выражения

$$\beta_{\text{в}} = \arccos \frac{R_{\text{щ}} - h_{\text{в}}}{R_{\text{щ}}}.$$

*Мощность* (кВт), необходимая для деформации ворса,

$$N_{\text{деф}} = 0,26 \cdot 10^{-7} z_{\text{в}} \frac{n^2}{d} \sqrt{h_{\text{в}}} \frac{EJ}{l} \psi, \quad (2.19)$$

где  $n$  – частота вращения, принимают  $n = 100$  об/мин;

$$\psi = \arcsin \frac{(R_{\text{щ}} - h_{\text{в}}) \sqrt{3(2R_{\text{щ}}h_{\text{в}} - h_{\text{в}}^2)}}{R_{\text{щ}}(R_{\text{щ}} - 2)}.$$

*Мощность, необходимую для привода лотковой щетки*  $N_{\text{лщ}}$ , в инженерных расчетах определяют по формулам (2.15) – (2.19), по которым рассчитан привод цилиндрической щетки.

*Мощность привода водяного насоса*  $N_{\text{нас}}$  (кВт)

$$N_{\text{нас}} = \frac{Qp}{1000\eta_{\text{нас}}\eta_{\text{об}}}, \quad (2.20)$$

где  $Q$  – расход воды через систему увлажнения, м<sup>3</sup>/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  $Q$  (м<sup>3</sup>/с)*

$$Q = qb_{\text{увл}}v_{\text{ф}}, \quad (2.21)$$

где  $q$  – удельный расход воды на увлажнение, кг/м<sup>2</sup>,

$$q = \begin{cases} 0,025 \dots 0,035 & \text{– для средней запыленности,} \\ 0,035 \dots 0,055 & \text{– для большой запыленности;} \end{cases}$$

$b_{\text{увл}}$  – ширина полосы увлажнения, м,

$$b_{\text{увл}} = (1,1 \dots 1,2)b, \quad (2.22)$$

где  $b$  – ширина очищаемой полосы, м.

*Мощность привода транспортирующего устройства  $N_{\text{тр}}$  (кВт)*  
затрачивается на привод шнекового подборщика и конвейера:

$$N_{\text{тр}} = N_{\text{шн}} + N_{\text{к}}, \quad (2.23)$$

где  $N_{\text{шн}}$  – мощность привода шнекового подборщика, кВт;

$N_{\text{к}}$  – мощность привода скребкового конвейера, кВт.

*Мощность привода шнека  $N_{\text{шн}}$  (кВт)*

$$N_{\text{шн}} = \frac{1,1\Pi_{\text{шн}}L}{\eta_{\text{шн}}}, \quad (2.24)$$

где  $\Pi_{\text{шн}}$  – производительность шнека, т/ч;

$L$  – длина пути перемещения смета в машине, м;

$\eta_{\text{шн}}$  – КПД привода шнека.

*Производительность шнека (т/ч)*

$$\Pi_{\text{шн}} = 47\psi_3 s_{\text{шн}} n_{\text{шн}} D_{\text{шн}}^2, \quad (2.25)$$

где  $\psi_3$  – коэффициент заполнения шнека сметом,  $\psi_3 = 0,2 \dots 0,3$ ;

$s_{\text{шн}}$  – шаг шнека, м;

$n_{\text{шн}}$  – частота вращения шнека, об/мин;

$D_{\text{шн}}$  – диаметр шнека, м.

*Частота вращения шнека* (об/мин) зависит от его диаметра:

$$n = \frac{30}{\sqrt{D_{\text{шн}}}}. \quad (2.26)$$

*Мощность* (кВт), необходимая для привода конвейера,

$$N_{\text{к}} = \frac{W_{\text{к}} v_{\text{к}}}{1000 \eta_{\text{к}}}, \quad (2.27)$$

где  $W_{\text{к}}$  – сопротивление движению цепи конвейера, Н;

$v_{\text{к}}$  – рабочая скорость конвейера, м/с;

$\eta_{\text{к}}$  – КПД привода конвейера.

*Сопротивление движению цепи* (Н) определяют из выражения

$$W_{\text{к}} = 1,25[(f_{\text{к}} q_{\text{к}} + f_{\text{см}} q_{\text{см}}) L_{\text{к}} \cos \beta + q_{\text{см}} H], \quad (2.28)$$

где  $f_{\text{к}}$  – коэффициент трения смета по стали,  $f_{\text{к}} = 0,12$ ;

$q_{\text{к}}$  – 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;

$L_{\text{к}}$  – длина конвейера, м;

$\beta$  – угол наклона конвейера;

$H$  – высота подъема смета, м.

*Мощность* (кВт), необходимая для перемещения машины,

$$N_{\text{пер}} = \frac{(f_{\text{с}} + i_{\text{у}}) G_{\text{пум}} v_{\text{м}}}{1000 \eta_{\text{тр}}}, \quad (2.29)$$

где  $f_c$  – коэффициент сопротивления качению,  $f_c = 0,02$ ;

$i_y$  – индекс уклона, зависящий от скорости движения машины,  
 $i_y = 0,01 \dots 0,04$ ;

$G_{\text{пум}}$  – 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,

$$N_{\text{сy}} \geq N = N_{\text{шц}} + N_{\text{лщ}} + N_{\text{нас}} + N_{\text{тр}} + N_{\text{пер}}, \quad (2.30)$$

*Вместимость бункера* ( $\text{м}^3$ ) для смета зависит от ширины полосы очистки  $b$  и скорости рабочего движения машины  $v_m$ . Ее находят по формуле

$$V_6 = \frac{q_3 b v_m t_n}{k_n \rho_{\text{см}}}, \quad (2.31)$$

где  $q_3$  – норма загрязненности дорожного покрытия,  $\text{кг}/\text{м}^2$ , принимают

$$q_3 = 0,10 \dots 0,15 \text{ кг}/\text{м}^2;$$

$t_n$  – время наполнения бункера сметом, равное или кратное продолжительности смены, с;

$k_n$  – коэффициент наполнения бункера сметом,  $k_n = 0,85 \dots 0,90$ .

*Вместимость бака для воды* ( $\text{м}^3$ ) системы обеспыливания зависит от вместимости бункера и ширины полосы увлажнения, которая должна быть шире полосы очистки на 10–20 %. Ее оценивают по формуле

$$V_{\text{вб}} = \frac{q b_{\text{увл}} v_m t_o}{k_{\text{нв}} \rho_{\text{в}}}, \quad (2.32)$$

где  $t_o$  – время опорожнения бака с водой, равное или кратное времени наполнения бункера сметом, с;

$k_{\text{нв}}$  – коэффициент наполнения бака водой,  $k_{\text{нв}} = 0,90 \dots 0,95$ ;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воды,  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Приведенные расчеты относятся к щеточному рабочему оборудованию и механической схеме транспортирования смета в бункер с увлажнением дорожного покрытия.

Для щеточно-вакуумного рабочего оборудования и вакуумной схемы обеспыливания и транспортирования смета в бункер баланс мощности включает следующие компоненты:

$$N = N_{\text{щц}} + N_{\text{лщ}} + N_{\text{вак}} + N_{\text{пер}}, \quad (2.33)$$

где  $N_{\text{вак}}$  – мощность привода вакуумного вентилятора, кВт.

Ее определяют из выражения

$$N_{\text{вак}} = \frac{Q_{\text{в}} p_{\text{в}}}{1000 \eta_{\text{об}} \eta_{\text{пр}}}, \quad (2.34)$$

где  $Q_{\text{в}}$  – расход воздуха, обеспечиваемый вентилятором, м<sup>3</sup>/с;

$p_{\text{в}}$  – давление (разрежение) воздуха на входе в вентилятор, Па;

$\eta_{\text{об}}$  – объемный КПД вентилятора;

$\eta_{\text{пр}}$  – КПД привода вентилятора.

Расход воздуха  $Q_{\text{в}}$  (м<sup>3</sup>/с) зависит от ширины полосы очистки  $b$  и скорости рабочего хода машины  $v_{\text{м}}$ :

$$Q_{\text{в}} = \frac{\kappa_{\text{зап}} q_{\text{з}} b v_{\text{м}}}{\mu_{\text{к}} \rho_{\text{вп}}}, \quad (2.35)$$

где  $\kappa_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса;

$\mu_{\text{к}}$  – коэффициент допустимой концентрации твердых частиц в воздушном потоке,  $\mu_{\text{к}} = 0,05 \dots 0,10$ ;

$\rho_{\text{вп}}$  – плотность воздуха в вакуумном подборщике, кг/м<sup>3</sup>.

Плотность воздуха в вакуумном подборщике  $\rho_{\text{вп}}$  (кг/м<sup>3</sup>) зависит от перепада давления вне и внутри подборщика:

$$\rho_{\text{вп}} = \rho_{\text{в}} \frac{p_{\text{а}} - p_{\text{п}}}{p_{\text{а}}}, \quad (2.36)$$

где  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$p_a$  – атмосферное давление, Па,

$p_n$  – давление (разрежение) воздуха в вакуумном подборщике, Па.

Эксплуатационная производительность ( $\text{м}^2/\text{ч}$ ) ПУМ как машины циклического действия зависит от вместимости бункера  $V_b$  и времени цикла подметания  $T_{\text{ц}}$  дорожного покрытия:

$$P_3 = \frac{3600 \kappa_b \kappa_n \rho_{\text{см}} V_b}{q_3 T_{\text{ц}}}, \quad (2.37)$$

где  $\kappa_b$  – коэффициент использования машины по времени,  $\kappa_b = 0,85$ .

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:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{под}} + t_{\text{зап}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{ман}}. \quad (2.38)$$

*Время непрерывного подметания (с)*

$$t_{\text{под}} = \frac{\kappa_n \rho_{\text{см}} V_b}{q_3 b v_m}. \quad (2.39)$$

*Время (с) заправки бака*

$$t_{\text{зап}} = \frac{\kappa_{\text{нв}} V_{\text{вб}}}{q_{\text{зап}}}, \quad (2.40)$$

где  $q_{\text{зап}}$  – расход магистрали, заполняющей водой бак,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

*Время пробега к месту опорожнения и заправки бака и обратно*

$$t_{\text{пр}} = \frac{L_{\text{гр}}}{v_{\text{гр}}} + \frac{L_{\text{пр}}}{v_{\text{п}}}, \quad (2.41)$$

где  $L_{\text{гр}}$  – расстояние до места выгрузки смета и заполнения бака, м;

$v_{\text{гр}}$  – скорость груженой машины, м/с;

$v_{\text{п}}$  – скорость порожней машины, м/с.

Время, затрачиваемое на маневрирование и выгрузку смета,  $t_{\text{ман}} = 300$  с.



## **2.4 Техника для ухода за зелеными насаждениями**

Зеленые насаждения являются эффективным средством укрепления насыпей и откосов, а также защиты от снежных заносов. Их содержание включает следующие работы:

- посев и скашивание травы;
- полив водой и опрыскивание ядохимикатами;
- 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.

### **2.4.1 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 2.15 представлена конструктивная схема типичной газонной сеялки, которую навешивают на малогабаритный трактор типа Т-25.

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 регулировочными 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.

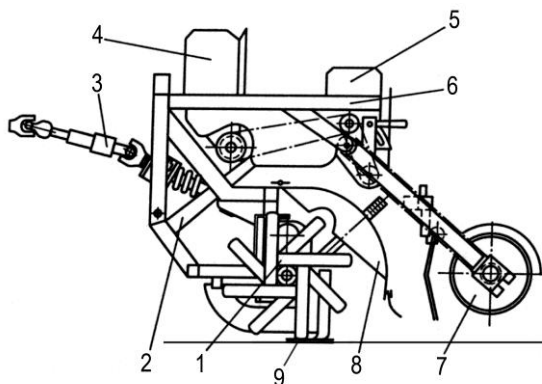


Рисунок 2.15 – Сеялка газонная:

- 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

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, противоэрозионной 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.

## **2.4.2 Опрыскиватели для защиты насаждений от вредителей**

Для защиты зеленых насаждений от вредителей и болезней используют в основном химические способы борьбы с ними, в основе которых лежит опрыскивание насаждений рабочими жидкостями – смесями пестицидов с водой в заданной концентрации. Рабочую жидкость (водные растворы, суспензии и минерально-масляные эмульсии ядохимикатов) наносят на

обрабатываемые растения в распыленном состоянии, при этом ее степень дисперсности влияет на эффективность действия пестицидов. Размеры капель рабочей жидкости зависят от давления в опрыскивателе и составляют от 0,5–5,0 до 250–400 мкм.

Для обработки зеленых насаждений используют оборудование, которое классифицируют по следующим основным признакам:

- по способу создания рабочего давления – насосные и безнасосные;
- по типу распылительных устройств – гидравлические и пневматические (вентильторные и аэрозольные);
- по способу агрегатирования с базовым транспортным средством – самоходные, прицепные и навесные.

В основном используют самоходные распылители (опрыскиватели) на автомобильном шасси, а также прицепные и навесные распылительные устройства к пневмоколесным тракторам.

Основными агрегатами опрыскивателя являются резервуар для рабочей жидкости с мешалками (механическими, гидравлическими или пневматическими), обеспечивающими гомогенность смеси, насос с механизмами его привода, трубопровод, распылительное устройство со съемными наконечниками, система управления и др.

Насос обеспечивает подачу жидкости под давлением из резервуара к распылительному устройству. В зависимости от конструкции различают опрыскиватели низкого (до 0,6 МПа) и высокого (до 2,5–3,0 МПа) давления. Для создания низкого давления используют в основном шестеренчатые, для высокого – поршневые насосы.

Шестеренчатые насосы применяют в основном для распыления малоагрессивных пестицидов. Их конструкция и принцип действия описаны в разд. 1. Привод насоса осуществляют от двигателя базового транспортного средства через коробку отбора мощности, карданную и клиноременную передачи.

Поршневые насосы используют для создания более высокого давления при распылении агрессивных рабочих жидкостей. Корпус поршневого насоса (рисунок 2.16) представляет собой два соосных цилиндра 4 и 6, в которых перемещаются ползун 3 и поршень 7.

Возвратно-поступательное движение поршня 7 обеспечивается приводимым от вала отбора мощности базового трактора коленчатым валом 1 с шатуном 2. Во всасывающей 9 и нагнетательной 10 трубах установлены подпружиненные автоматически действующие клапаны – всасывающий 8 и нагнетательный 11. При движении поршня 7 (с ползуном 3) вниз в цилиндре над поршнем создается разрежение, вследствие чего автоматически открывается клапан 8 и рабочая жидкость из резервуара поступает в цилиндр 6. При движении ползуна 3 с поршнем 7 вверх над поршнем создается давление жидкости, под действием которой всасывающий клапан

8 закрывается, а нагнетательный 11 открывается. При этом жидкость поступает в нагнетательную трубу 10 и далее к распылительному устройству. Поскольку приведенная конструкция поршневого насоса обеспечивает только периодическое нагнетание жидкости, применяют трехсекционные насосы, которые обеспечивают постоянное давление жидкости в распылительном устройстве. Для этого устанавливают на одном валу три кривошипно-шатунных механизма, расположенных под углом  $120^{\circ}$ .

Навесные опрыскиватели агрегируют с пневмоколесными тракторами. Раму опрыскивателя шарнирно соединяют с тягами навесной системы базового трактора. Насос приводят от ВОМ трактора через карданную передачу.

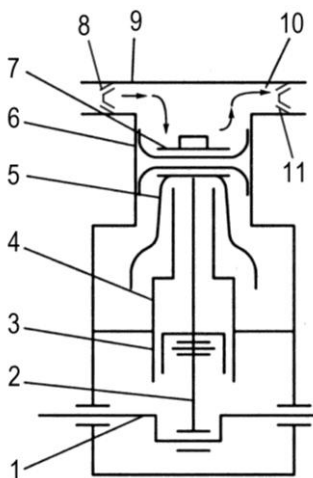


Рисунок 2.16 – Поршневой односекционный насос:  
 1 – коленчатый вал; 2 – шатун;  
 3 – ползун; 4, 6 – цилиндры;  
 5 – колпак; 7 – поршень;  
 8 – всасывающий клапан;  
 9 – всасывающая труба;  
 10 – нагнетательная труба;  
 11 – нагнетательный клапан

На рисунке 2.17 представлена схема типичного навесного опрыскивателя, агрегируемого с пневмоколесным трактором. Рабочая жидкость поступает в насос 11 из резервуара 4 по трубе 13 и далее по трубе 10 – в пульт управления 8. Затем большая часть жидкости по трубе 9 поступает непосредственно к распылительному устройству, а меньшая – по трубе 14 в гидромешалку 14 для обеспечения однородности жидкости в резервуаре 4.

Если заправку опрыскивателя производят собственным насосом 11, пульт управления при заправке обеспечивает поступление жидкости из бака в резервуар 4 через фильтр 1, всасывающий шланг 3 и эжектор 5.

При расчете оборудования для опрыскивания зеленых насаждений производят расчет расхода рабочей жидкости.

Расход жидкости  $Q_{ж}$  (л/мин) через распылительное устройство связан с производительностью насоса  $Q_{н}$  следующим соотношением:

$$Q_{н} \geq Q_{ж} \cdot \quad (2.42)$$

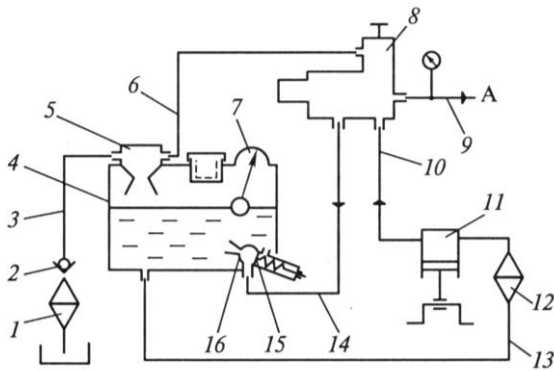


Рисунок 2.17 – Схема навесного опрыскивателя:  
 1, 12 – фильтры;  
 2 – обратный клапан;  
 3 – всасывающий шланг; 4 – резервуар;  
 5 – эжектор;  
 6, 9, 10, 13, 14 – трубы;  
 7 – уровнемер;  
 8 – пульт управления;  
 11 – насос; 15 – предохранительный клапан;  
 16 – гидромешалка

Производительность (л/мин) поршневого насоса определяют по формуле

$$Q_{пн} = 1000 \lambda \frac{\pi d^2}{4} l z_{ц} n_{в}, \quad (2.43)$$

где  $\lambda$  – коэффициент объемного заполнения цилиндров насоса,

$$\lambda = 0,85 \dots 0,90;$$

$d$  – диаметр поршня, м;

$l$  – ход поршня, м;

$z_{ц}$  – число цилиндров насоса;

$n_{в}$  – частота оборотов ведущего вала,  $\text{мин}^{-1}$ .

Производительность (л/мин) шестеренчатого насоса определяют с учетом формул (1.11) и (1.12)

$$Q_{шн} = \frac{2\pi}{1000} \eta_o z_{ш} m^2 b n_{ш}, \quad (2.44)$$

где  $\eta_o$  – объемный КПД насоса;

$z_{ш}$  – число зубьев шестерни;

$m$  – модуль зацепления, мм,

$b$  – ширина зубчатого венца шестерни, м;

$n_n$  – частота оборотов вращения шестерни, мин<sup>-1</sup>.

*Расход рабочей жидкости* (л/мин) рассчитывают по формуле

$$Q_{\text{ж}} = \frac{1}{6} 10^{-4} B_3 q_n v_p, \quad (2.45)$$

где  $B_3$  – ширина зоны опрыскивания, м;

$q_n$  – заданная норма расхода жидкости, л/га;

$v_p$  – рабочая скорость передвижения базовой машины, км/ч.

### 2.4.3 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:

1) *по типоразмеру* – с малой шириной захвата (до 0,65 м), средней (до 1,3 м) и большой (свыше 1,3 м);

2) *по типу движителя базового энергосредства* – гусеничные и пневмоколесные (на шасси трактора или автомобиля);

3) *по способу агрегатирования с базовым трактором* – прицепные и навесные (с манипулятором и без него);

4) *по типу режущего аппарата* – плоско-вращательного, вращательно-цилиндрического и возвратно-поступательного действия;

5) *по типу навески рабочего органа* – фронтальная (спереди), сбоку между осями и позади трактора;

6) *по количеству роторных дисков* – одно-и многодисковые;

7) *по типу стрелы манипулятора* – секционные и телескопические;

8) *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 2.18 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 (рисунок 2.18, *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 (рисунок 2.18, *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 (рисунок 2.18, *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 бруске.

Принцип подпорного резания используют в основном для окашивания травы на больших площадях сельскохозяйственного назначения.

В косилках для ухода за дорожными зелеными насаждениями в основном используют принцип бесподпорного резания, которое реализуют при помощи плоско-вращательного режущего аппарата роторного типа (см. рисунок 2.18, *а*).

Отечественная промышленность выпускает разнообразное косильное оборудование. Как правило, косильная установка представляет собой навесное оборудование, которое крепится позади пневмоколесного трактора, обеспечивая правостороннее окашивание.

На территории СНГ наиболее распространенным базовым трактором является МТЗ-80/82. С этим трактором агрегируют косилки не только отечественного, но и зарубежного производства. Трехточечное унифицированное крепление на тракторе навесного оборудования сокращает время на его монтаж и обеспечивает надежное закрепление.

Современная косилка имеет роторный рабочий орган, на котором установлены режущие элементы в виде пластинчатых ножей (двух или



четырёх). 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 1400–1500 об/мин), что требует предохранительного кожуха для его безопасной эксплуатации.

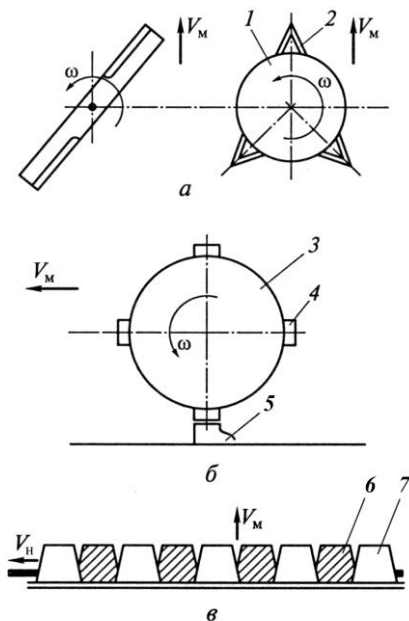


Рисунок 2.18 – Схемы режущих элементов:

*a* – 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

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.

В основном используют двухсекционные стрелы, но имеются и трехсекционные для работы на больших площадках, например, на аэродромах, а также телескопические стрелы манипулятора.

Основной характеристикой косилки, определяющей ее производительность, является ширина полосы скашивания. Ведущие производители оборудования для ухода за зелеными насаждениями выпускают модельные ряды с широким диапазоном изменения ширины

окашивания. Например, компания «Тwose» производит косилки, модельный ряд которых насчитывает около 50 единиц с вылетом стрелы от 1,0 до 6,5 м.

В зависимости от объемов работ косилки оснащают различным количеством роторов. Для окашивания труднодоступных участков используют один ротор, что обеспечивает небольшую ширину захвата. Увеличивая количество роторов, повышают производительность окашивания травы. Например, один ротор косилки модели Л-502 (предприятия «Лидсельмаш») обеспечивает ширину 0,85–0,95 м. Два ротора косилки Л-501-01 того же предприятия дают за один проход полосу окашивания шириной 1,9 м. Наличие четырех роторов с шарнирно закрепленными пластинчатыми ножами, попарно вращающихся навстречу друг другу, позволяет косилке АС-1 (производства Кохановского экскаваторного завода) при ширине захвата 2,1 м развивать высокую рабочую скорость – до 15 км/ч.

В Беларуси косильное оборудование выпускают также минский завод «Евромаш», «Белдортехника» и «Дорвектор» из Минской области, Мозырский машиностроительный завод и др. В качестве примера манипуляторной косилки можно привести навесное оборудование для содержания автомобильных дорог модели ОРС-30 на базе трактора МТЗ. Оно представляет собой гидроманипулятор, который устанавливают на лонжероны трактора. На него навешивают сменное рабочее оборудование, в том числе окашиватель откосов, ямобур, оборудование для очистки дорожной обстановки и другие адаптеры. На рисунке 2.19 представлена схема манипулятора с оборудованием для окашивания откосов.

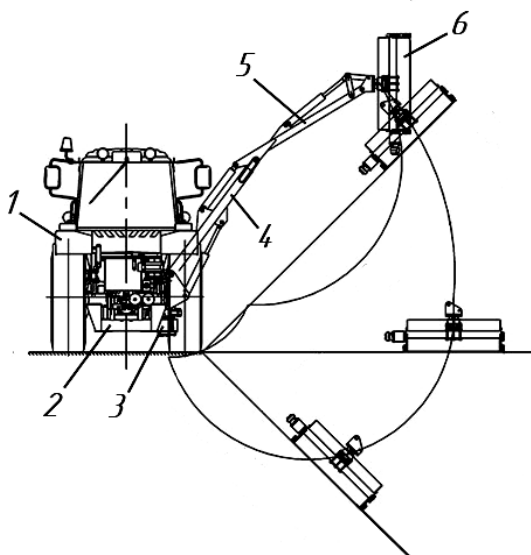


Рисунок 2.19 – Схема  
однороторного  
оборудования для  
окашивания откосов:  
1 – базовый трактор;  
2 – рама манипулятора;  
3 – поворотная колонна;  
4 – подъемная стрела;  
5 – выносная стрела;  
6 – окашиватель откосов.

Двухсекционный манипулятор состоит из рамы 2, поворотной колонны 3, подъемной 4 и выносной 5 стрел, а также суппорта, к которому крепится окашиватель откосов 6. Окашиватель оснащен роторным валом с двухлопастным ножом, который скашивает траву (при частоте вращения роторного вала до 3000 об/мин) полосой до 1,3 м, опираясь на обрабатываемую поверхность опорными лыжами, обеспечивающими копирование ее профиля. Окашиватель имеет возможность окашивать откосы, склоны и горизонтальные поверхности. Максимальный вынос стрелы манипулятора достигает 4 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 2.20 приведена схема 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.

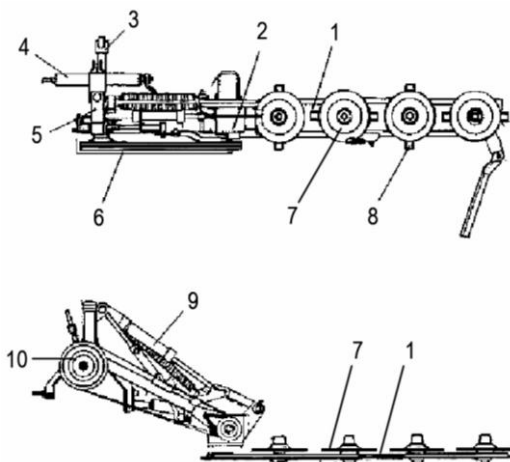


Рисунок 2.20 –  
 Конструктивная схема  
 привода косилки:  
 1 – полотно косилки;  
 2 – редуктор; 3 – карданный  
 вал; 4 – кронштейн; 5 – стойка;  
 6 – кожух; 7 – ротор; 8 – нож;  
 9 – гидроцилиндр; 10 –  
 ременная передача

Применение гидроманипулятора способствует расширению технологических возможностей базовой машины. На рисунке 2.21 представлена схема косилки в виде трехроторного рабочего органа, установленного на двухсекционный гидроманипулятор. Для повышения устойчивости машины задние колеса трактора устанавливают значительно шире его габаритов. Пунктиром обозначено горизонтальное положение роторных дисков.

В таблице 2.5 приведены технические характеристики косилок на базе трактора МТЗ, разработанных и выпущенных различными отечественными производителями. Как видно из таблицы, эксплуатационные характеристики косильного оборудования различаются довольно значительно, при этом изменение количества режущих элементов, т.е. роторов с ножами (в интервале 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, ямбуры и др.

Кроме того, выпускают косилки-кусторезы, способные спиливать мелколесье. Для этих целей косилки снабжают режущими головками, оснащенными дисковыми пилами. Так сменный кусторез КД-1,5 (производства Кохановского экскаваторного завода) оснащен 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.

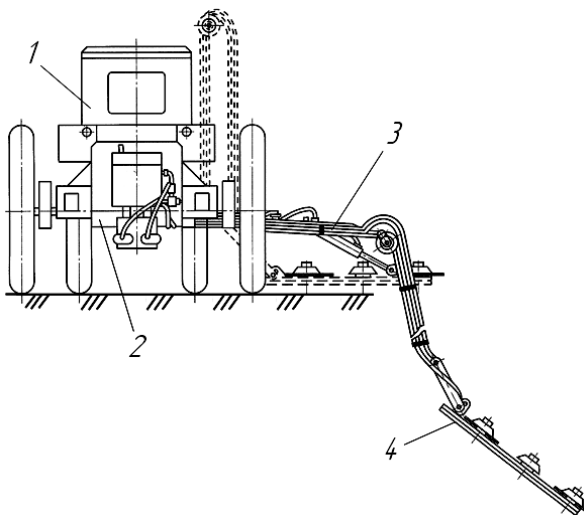


Рисунок 2.21 – Схема оборудования для окашивания откосов:  
 1 – базовый трактор; 2 – рама манипулятора; 3 – манипулятор; 4 – косилка

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, на крутых склонах и т.п.

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 2.22 приведена типичная кинематическая схема привода газонокосилки 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.

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.

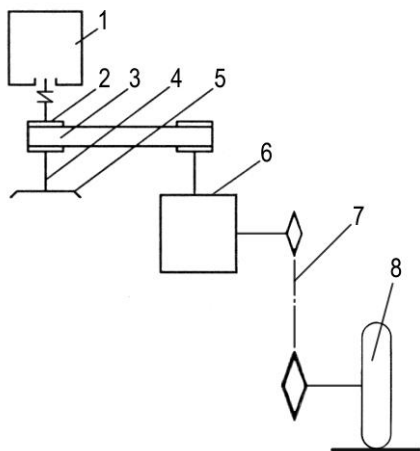


Рисунок 2.22 – Кинематическая схема привода косилки:

- 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

Газонокосилку на воздушной подушке используют для скашивания обыкновенных газонов, а также газонов на склонах с уклоном до  $45^{\circ}$ . Ручная

косилка содержит (рисунок 2.23) корпус, нижняя часть которого является несущей камерой 1, двигатель 3 (от бензомоторной пилы), коллектор 4 для забора воздуха, центробежный вентилятор 6, плоско-вращательный нож 5 и рукоятку управления 2.

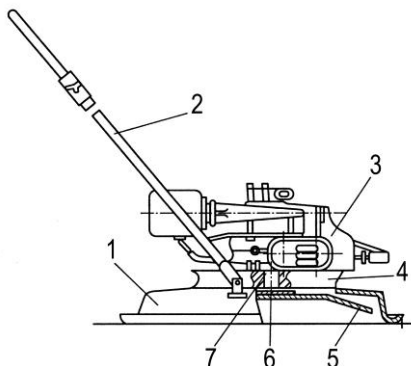


Рисунок 2.23 – Косилка на воздушной подушке:

- 1 – несущая камера;
- 2 – рукоятка управления;
- 3 – двигатель; 4 – коллектор;
- 5 – нож; 6 – вентилятор;
- 7 – приводной вал

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 ползьев 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 аппараты плоско-вращательного и возвратно-поступательного действия. На рисунке 2.24 представлена схема одного из вариантов косилки на базе мотоблока. Она оснащена двигателем (мощностью 3,63 кВт), трансмиссией, содержащей коробку перемены передач, рабочим органом возвратно-поступательного действия, одноосной тележкой и системой управления.

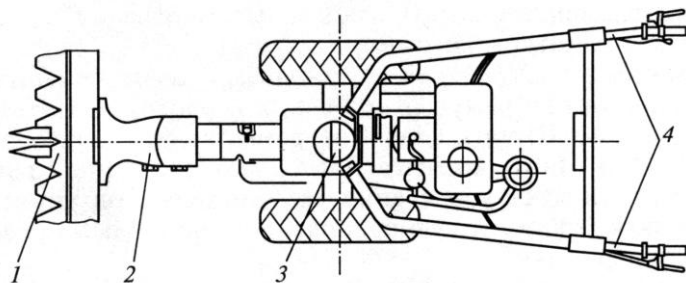


Рисунок 2.24 – Моторная косилка:

1 – режущий аппарат; 2 – трансмиссия; 3 – силовая установка; 4 – рукоятки управления

В режущем аппарате возвратно-поступательного действия (рисунок 2.25, *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 2.25, *б*) состоит из режущего сегмента и противорежущей пластинки 6, прикрепленной к опорной пластине прижимным устройством 2.

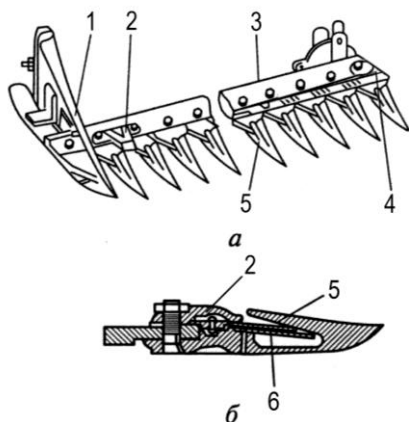


Рисунок 2.25 – Режущий аппарат моторной косилки:

*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 2.26. Она 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.



**Таблица 2.5 – Технические характеристики косилок на базе трактора МТЗ**

Параметр	Л-501Д	КРНР-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 ширина высота	3650 1050 1150	3380 940 1270	1640 4270 1000	7070* 2500 2700	5500* 2500 3200	5500* 2800 3200	5150* 500 2200	5150* 2500 2800
Масса, кг	430	440	600	850	300	–	–	–
* Размеры в агрегате с трактором								

Крутящий момент от двигателя 3 (мощностью 7,2 кВт) передается через коробку передач, муфту и редуктор на режущий агрегат а также через дифференциал на ведущие задние колеса. Перевод косилки из рабочего в транспортное положение и обратно обеспечивает рычажное устройство. Ширина захвата составляет 1 м.

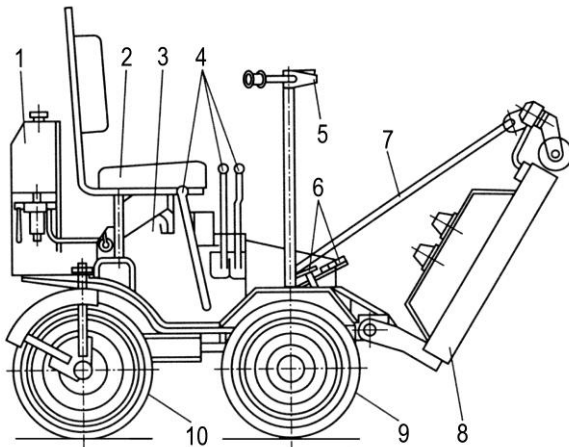


Рисунок 2.26 –  
Газонокосилка  
самоходная:  
1 – топливный бак;  
2 – сиденье;  
3 – двигатель; 4 – рычаги  
управления; 5 – рулевое  
управление; 6 – педали  
управления; 7 – тяга  
крепления рабочего  
органа в транспортном  
положении;  
8 – режущий аппарат;  
9 – ведущее колесо;  
10 – поворотное колесо

При расчете оборудования для окашивания травы оценивают баланс мощности, определяют оптимальные параметры режущего элемента и режимы его работы.

Для дискового режущего инструмента мощность  $N_{пр}$  (кВт) привода ножа косилки

$$N_{пр} = N_{ин} + N_{рез}, \quad (2.46)$$

где  $N_{ин}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сил инерции ножа, кВт;

$N_{рез}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления резанию, кВт.

Мощность  $N_{ин}$  (кВт) на преодоление сил инерции

$$N_{ин} = \frac{m\omega^3 r^2}{102g}, \quad (2.47)$$

где  $m$  – масса ножа, кг;

$\omega$  – угловая скорость вращения кривошипа, рад/с;

$r$  – радиус кривошипа, м.

Частота оборотов эксцентрика составляет 700–800 мин<sup>-1</sup>.

Мощность  $N_{рез}$  (кВт), связанная с преодолением сопротивления резания,

$$N_{рез} = \frac{Pv}{1000}, \quad (2.48)$$

где  $P$  – сила сопротивления резанию, Н;

$v$  – скорость резания, м/с.

В свою очередь, силу  $P$  (Н) находят из выражения

$$P = k_p B_3, \quad (2.49)$$

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:

$$v = \frac{\pi D n}{60}, \quad (2.50)$$

где  $D$  – диаметр кривошипа, м;  $D = 0,06 \dots 0,08$  м;

$n$  – частота оборотов, мин<sup>-1</sup>.

Для вращательно-цилиндрического режущего органа мощность  $N_{пр}$  (кВт) привода для срезания и транспортирования зеленой массы определяют по формуле

$$N_{пр} = N_{ср} + N_{тр}, \quad (2.51)$$

где  $N_{ср}$  – мощность, затрачиваемая на срезание травы, кВт;

$N_{тр}$  – мощность, затрачиваемая на транспортирование зеленой массы, кВт.

Мощность  $N_{ср}$  (кВт) на срезание

$$N_{ср} = \frac{k_p \omega r_{ц}}{1000 \sin \chi_{к}} \left[ \cos \varphi_{н} - \frac{v_{м}}{v_{о}} \left( \frac{\pi}{2} - \varphi_{н} \right) \right], \quad (2.52)$$

где  $k_p$  – удельное усилие резания на режущих лезвиях, Н;  
 $\omega$  – угловая скорость вращения режущего аппарата,  $c^{-1}$ ;  
 $r_{ц}$  – расстояние от центра лобовой поверхности ножа до центра вращения, м;  
 $\chi_k$  – угол в плане между кромками спирального ножа и противорежущей пластины,  $\chi_k = 19 \dots 22^\circ$ ;  
 $\varphi_n$  – угол поворота ножа, град;  
 $v_m$  – скорость передвижения машины, м/с;  
 $v_o$  – скорость отбрасывания стеблей, м/с.  
*Мощность (кВт), затрачиваемая на транспортирование зеленой массы,*

$$N_{тр} = \frac{m_{уд} g B_3 v_m}{1000}, \quad (2.53)$$

где  $m_{уд}$  – удельная масса срезаемой травы по ширине, кг/м;  
 $B_3$  – ширина захвата режущего аппарата, м.

#### 2.4.4 Оборудование для посадки кустарника 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:

- 1) *по виду рабочего оборудования* – навесное и стационарное;
- 1) *по типу базового шасси* – на колесных тракторах, погрузчиках, экскаваторах и кранах, на автомобильном или специальном шасси;
- 2) *по типу привода бура* – с механическим, гидравлическим и электрическим приводом от силовой установки базовой машины или от автономного двигателя;
- 3) *по конструкции бура* – лопастные и винтовые;

4) по расположению рабочего органа – с передней, задней и боковой навеской.

В зависимости от объема работ используют ручные механизированные агрегаты (мотобуры, бензобуры), навесные сменные механизированные ямбуры, 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 2.27, а), для узких и глубоких – винтовые (шнековые) (рисунок 2.27, б).

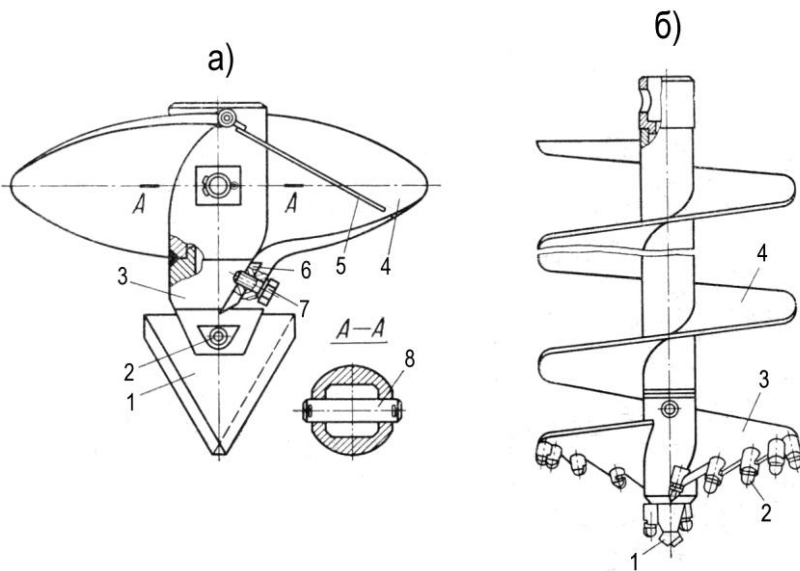


Рисунок 2.27 – Типы бур:

а – лопастной бур:

1 – забурник; 2, 7, 8 – элементы крепления; 3 – корпус; 4 – лопасть; 5 – заслонка; 6 – нож

б – винтовой бур:

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.

Лопастной бур (см. рисунок 2.27, *а*) состоит из трубчатого основания 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 2.27, *б*) также состоит из несущей трубы, в нижней части которой закреплен центрирующий наконечник 1 буровой головки 3. К трубе приварены 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 2.28 представлена схема бурильно-крановой машины на шасси автомобиля.

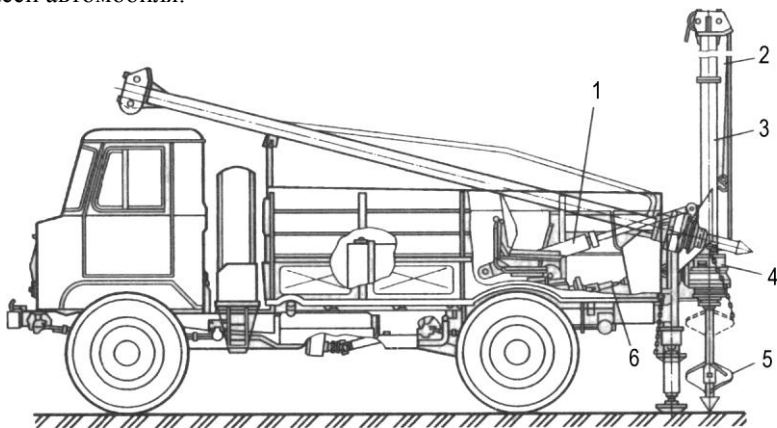


Рисунок 2.28 – Схема бурильно-крановой машины:

1 – гидроцилиндр перевода бура в рабочее положение; 2 – крановое устройство; 3 – бурильная штанга; 4 – конический редуктор; 5 – бур; 6 – механическая трансмиссия

Ее рабочим органом является бур, имеющий механический привод от силовой установки автомобиля через раздаточную коробку, предохранительную муфту, карданную передачу и конический редуктор. Перевод бура из рабочего в транспортное положение производят с

помощью гидросистемы, которая также обеспечивает бесступенчатое возвратно-поступательное движение гидравлической бурильной штанги с буром с усилием подачи 16–40 кН. Машина также оборудована крановым устройством и червячной реверсивной лебедкой.

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 2.29.

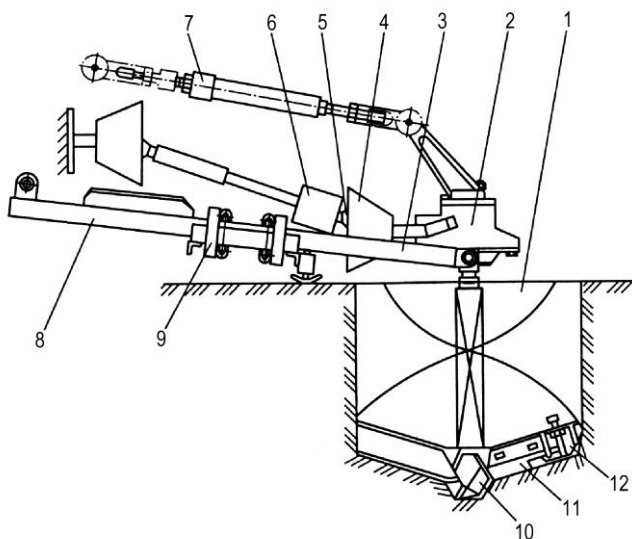


Рисунок 2.29 – Схема ямокопателя:

- 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<sup>-1</sup>. Перевод бура из рабочего в транспортное положение производят с помощью тяги 7.

*Расчет бурильного оборудования* включает баланс 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 (кВт) силовой установки состоит из следующих компонентов:

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{р}} + N_{\text{под}} + N_{\text{п}}. \quad (2.54)$$

*Мощность (кВт), необходимая для разрушения грунта,*

$$N_{\text{р}} = \frac{\kappa_3 q_{\text{гр}}}{1000 \eta_{\text{вр}}}, \quad (2.55)$$

где  $\kappa_3$  – удельная энергоемкость резания грунта, Н·м/м<sup>3</sup>,

$$\kappa_3 = \begin{cases} (1..2) \cdot 10^5 & \text{– для грунта I категории,} \\ (2..3) \cdot 10^5 & \text{– II категории,} \\ (3..4) \cdot 10^5 & \text{– III категории;} \end{cases}$$

$\eta_{\text{вр}}$  – КПД привода вращения бура;

$q_{\text{гр}}$  – объем грунта, разрушенного за 1 с, м<sup>3</sup>/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 (кВт), затрачиваемая на подъем бура,*

$$N_{\text{под}} = \frac{\kappa_{\text{т}} \rho_{\text{гр}} g H_{\text{б}} q_{\text{гр}}}{1000 \eta_{\text{вр}}}, \quad (2.56)$$

где  $\kappa_{\text{т}}$  – коэффициент, учитывающий потери мощности при трении грунта по стенкам ямы,  $\kappa_{\text{т}} = 1,2 \dots 1,3$ ;

$\rho_{\text{гр}}$  – плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>;



$H_6$  – глубина бурения, м.

Мощность (кВт), затрачиваемая на подачу бура,

$$N_{\Pi} = \frac{P_{oc} v_6}{\eta_{\Pi}}, \quad (2.57)$$

где  $P_{oc}$  – осевая сила давления бура при подаче, кН,  $P_{oc} = 3 \dots 7$  кН;

$\eta_{\Pi}$  – КПД привода подачи бура.

Если задана величина мощности силовой установки  $N_{дв}$ , скорость проходки ямы или скважины с учетом формул (2.54) – (2.57) составляет

$$v_6 = N_{дв} \left/ \left[ \frac{\pi D}{4 \eta_{вр}} (\kappa_3 + \kappa_T \rho_{гр} g H_6) - \frac{P_{oc}}{\eta_{\Pi}} \right] \right., \quad (2.58)$$

По другому варианту при оценке потребляемой мощности учитывают сопротивление грунта резанию, а также силы трения боковых и торцевых поверхностей бура по грунту, а также грунта по грунту.

*Эксплуатационная производительность* (м/ч) бурильного оборудования

$$P_3 = \frac{3600 \kappa_в H_6}{T_{ц}}, \quad (2.59)$$

где  $T_{ц}$  – время цикла бурения, с,

$$T_{ц} = t_{бур} + t_{сп} + t_{раз}, \quad (2.60)$$

$t_{бур}$  – 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.

## 2.4.5 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 2.30 представлена конструктивная схема машины для пересадки деревьев на базе фронтального погрузчика (типа

ПК-27-03-000). Основной рабочий орган – четыре штыковые лопаты 3, которые располагают кольцом вокруг пересаживаемого дерева. Их устанавливают с помощью гидроцилиндров 4 под углом 55–60° 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 (шт/с) оборудования

$$P_3 = \frac{K_B n}{T_{\text{ц}}}, \quad (2.61)$$

где  $n$  – количество пересаженных деревьев;

$T_{\text{ц}}$  – время цикла, с,

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{вык}} + t_{\text{под}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{выг}} + t_{\text{хх}}, \quad (2.62)$$

$t_{\text{вык}}$  – время на выкапывание дерева, с;

$t_{\text{под}}$  – время на подъем пересаживаемого дерева, с;

$t_{\text{тр}}$  – время на его транспортирование, с;

$t_{\text{выг}}$  – время на выгрузку и пересадку дерева, с;

$t_{\text{вык}}$  – время на холостой ход к исходному месту выкапывания, с.

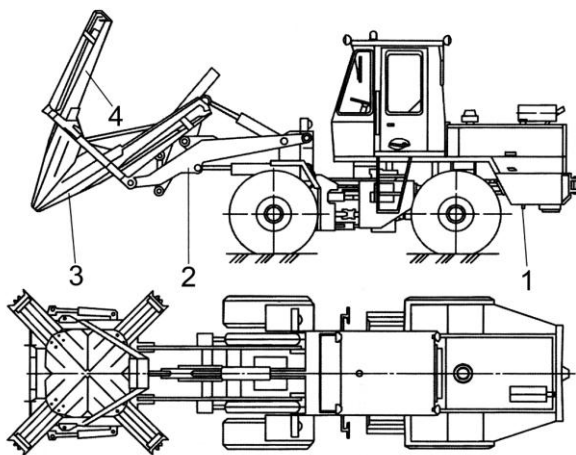


Рисунок 2.30 – Схема машины для пересадки деревьев:  
1 – погрузчик; 2 – навесное оборудование; 3 – лопата; 4 – гидроцилиндр

## 2.4.6 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:

- 1) *по виду рабочего органа* – дисковые и барабанные;
- 2) *по типу базового шасси* – на колесном и гусеничном тракторах, автомобильном или специальном шасси, на прицепе и полуприцепе;
- 3) *по типу привода рубильного агрегата* – от силовой установки базового шасси и от автономного двигателя;
- 4) *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.

Производители рубильной техники для переработки древесных отходов (например, компании «Junkkari» из Финляндии, «Doppstadt» из Германии и др.) выпускают модельные ряды, отличающиеся габаритами, типом рабочего органа, мощностью, приводом рабочего оборудования 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 силового оборудования.

В Беларуси также производят рубильную технику. Завод «Дормаш» (ОАО «Амкодор» – управляющей компании холдинга) выпускает рубильную самоходную машину «Амкодор 2904» с барабанным рабочим органом (рисунок 2.31). 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.

Машина представляет собой самоходную шарнирно-сочлененную полноприводную колесную машину. Она содержит 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 (мощностью 148 кВт) через редуктор отбора мощности с помощью карданных валов передается на гидромеханическую передачу и далее на ведущие мосты машины.

Передний (подмоторный) мост установлен 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 размещены силовая установка, трансмиссия и кабина 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 установлено рабочее оборудование, которое состоит из гидроманипулятора 1 для подачи древесного сырья, а также рубильного модуля 2 с барабанной дробилкой.

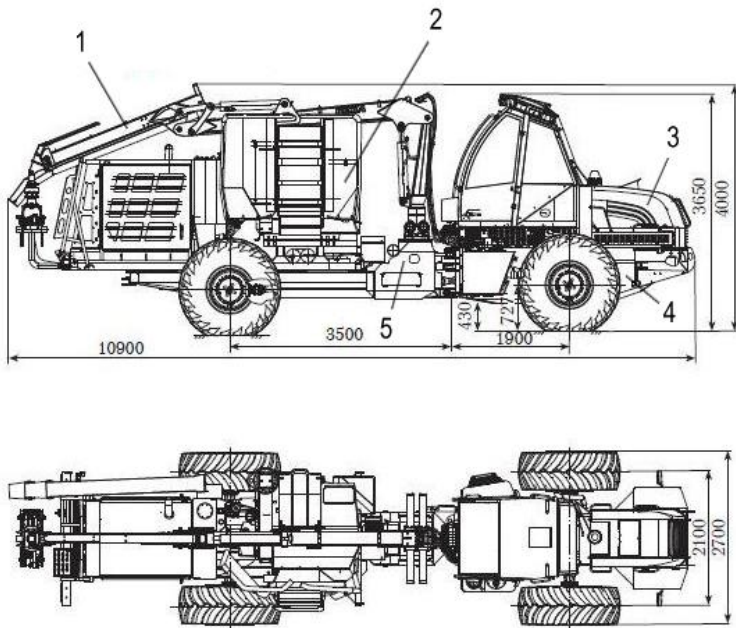


Рисунок 2.31 – Рубильная самоходная машина модели «Амкорд 2904»: 1 – манипулятор; 2 – рубильный модуль; 3 – базовое шасси; 4 – передняя полурама; 5 – задняя полурама

Гидроманипулятор *1* имеет телескопическую стрелу, рукоять, ротор 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 ротора происходит за счет подачи рабочей жидкости в механизм (под давлением 20 МПа) через гидрораспределитель. Через ротор также подается рабочая жидкость на гидроцилиндр захвата. Наличие ротора 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.

Рубильный модуль (рисунок 2.32) содержит автономный дизельный двигатель (мощностью 328 кВт), заблокированный с барабанной дробилкой фирмы «Kesla», оснащенной шестью ножами.

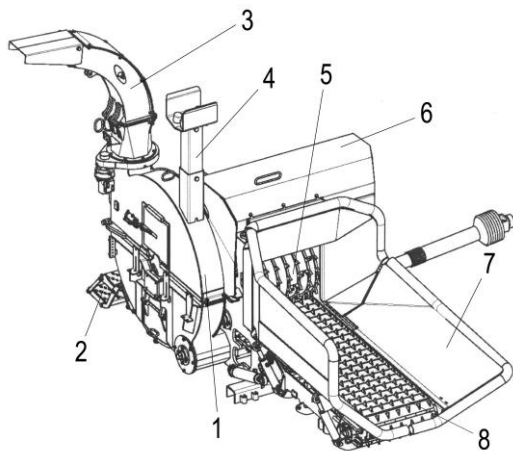


Рисунок 2.32 –  
Рубильный модуль машины:  
*1* – вентилятор; *2* –  
ступеньки для обслуживания  
модуля; *3* – воздуходувная  
труба для щепы; *4* – опора  
погрузчика; *5* – подающий  
ролик;  
*6* – устройство для  
размельчения щепы; *7* – стол  
подачи; *8* – лента конвейера

Он оснащен конвейером *8* с прижимным роликом *5* для подачи отходов древесины в зону обработки, столом подачи отходов *7*, воздуходувной трубой *3* для выноса щепы (щепопроводом), сборником щепы и системой 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 «Амкорд 2904», которые производят несколько компаний, входящих в состав холдинга «Амкорд», отличаются набором ряда комплектующих различных производителей.

Помимо самоходных моделей, в Беларуси выпускают прицепные рубильные машины типа «Беларус» МР-40, конструктивная схема которой представлена на рисунке 2.33. Их также оснащают барабанными дробилками фирмы «Kesla», имеющими аналогичное конструктивное исполнение. 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 и др. Моторный модуль включает шестицилиндровый дизельный двигатель мощностью 156 кВт с приводом рубильного агрегата.

Рубильный модуль не имеет значительных конструктивных и технологических отличий от модуля машины «Амкорд 2904». Все рабочее оборудование гидрофицировано.

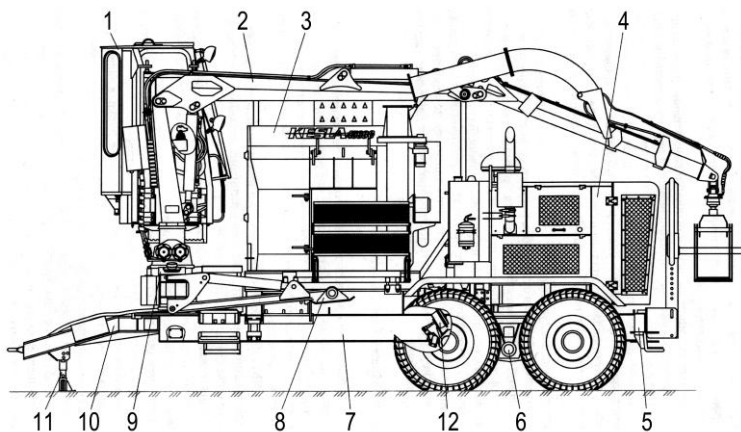


Рисунок 2.33 – Рубильная прицепная машина модели «Беларус» МР-40:  
1 – кабина оператора; 2 – гидроманипулятор; 3 – рубильный агрегат; 4 – моторный модуль;  
5 – электрооборудование; 6 – балансир с колесами; 7 – рама; 8 – выносная опора;  
9 – гидросистема; 10 – дышло; 11 – опора; 12 – пневмосистема

Производительность машины составляет 40 м<sup>3</sup>/ч.

## 2.5 Оборудование для устройства и укрепления обочин

Укрепление обочин способствует увеличению долговечности дорог. Для этих целей используют различные методы и технические средства, включая рассмотренные ранее методы формирования газона и др. Одним из эффективных видов устройств для создания и укрепления обочин является оборудование ОНУ-2300, разработанное на Фанипольском опытно-механическом заводе (филиале РУП Дорстройиндустрия). На рисунке 2.34 приведена схема установки,

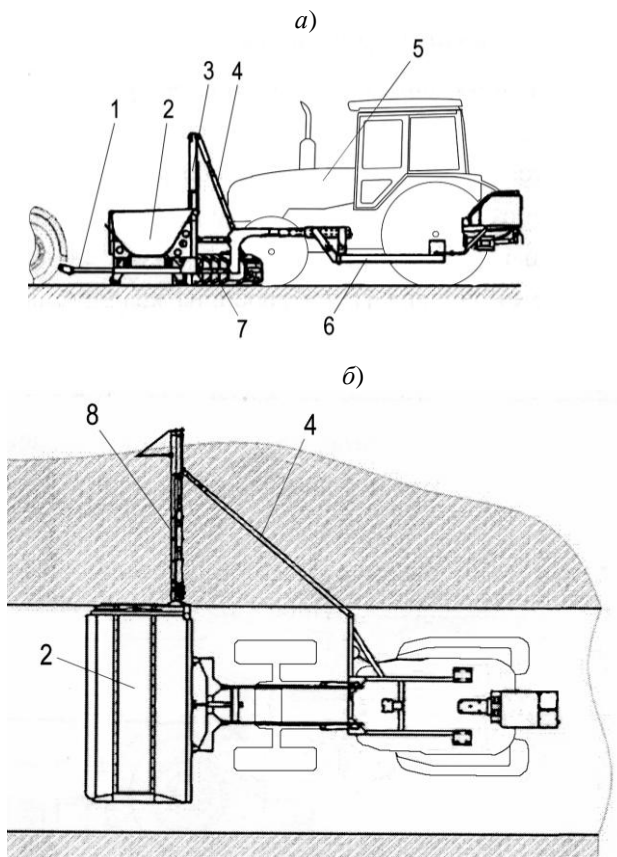


Рисунок 2.32 – Оборудование для укрепления откосов:

*a* – 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

Она представляет собой передненавесное оборудование, монтируемое на лонжеронах пневмоколесного трактора «Беларус» 92П, которое содержит отвал, бункер, конвейер подачи дорожно-строительного материала и систему управления рабочим оборудованием. 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 оснащен профилирующим ножом с изменяемой до 300 мм 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 установлена регулируемая по вылету гидравлическая штанга 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 установлено дозирочное выгрузное окно, через которое материал поступает к отвалу. Для этого бункер, который загружается из самосвала, оснащают ленточным конвейером 7, установленным в его нижней части, и дозирочной заслонкой, обеспечивающей необходимый объем материала, который поступает к отвалу-планировщику.

Рабочие органы установлены на раме, состоящей из двух продольных лонжеронов 6 и двух поперечных верхней и нижней балок. Лонжероны 6 закреплены на полураме и полуосях базового трактора 5.

Гидросистема привода рабочих органов является двухконтурной. Первый контур обеспечивает регулирование скорости вращения гидромотора конвейера от насоса, смонтированного на ВОМ базового трактора. Второй контур (от гидромукт базового трактора) при помощи силовых гидроцилиндров обеспечивает управление положением рабочих органов: подъемом-опусканием стойки отвала, перекосом отвала, подъемом-опусканием приемного бункера, выдвиганием 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.). Оборудование 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.

## **2.6 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 разметки используют различные 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.

Маркировочные материалы целесообразно разделить на следующие группы: краски, эмульсии и полимерные материалы (так называемые «горячие» и «холодные» пластики), а также полимерные ленты.

Реализацию упомянутых требований обеспечивает сложный состав маркировочного материала, главным компонентом которого является вяжущее (связующее). Оно придает материалу монолитность и прочность, а также другие технологические и эксплуатационные свойства.

Из маркировочных материалов наибольшее распространение в отечественной дорожной технике имеют краски. Краска представляет собой многокомпонентный материал, который включает связующее, наполнитель, пигмент (краситель), световозвращающие добавки и растворитель. В основном в качестве связующих используют растворы смол (олигомеров), которые при 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.

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 прочности.

Полимерная разметка холодным или горячим пластиком имеет 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 составляет три–четыре года.

Горячий пластик представляет собой материал, который наносят на дорожное покрытие в размягченном или расплавленном состоянии (при температуре 150–220 °С). В исходном состоянии он состоит из смеси полимерного связующего, пигмента, наполнителя и других функциональных добавок и не содержит растворителей. Этот материал наносят на поверхность выдавливанием, накаткой и распылением, толщина слоя которого обычно составляет 3–5 мм. Горизонтальная разметка из горячих термопластиков имеет значительно большую долговечность, чем красочная разметка.

Холодный пластик не требует разогрева при применении. Его наносят на поверхность дорожного покрытия при температуре окружающей среды без дополнительной термообработки. В исходном состоянии он представляет собой текучую смесь, содержащую связующее, пигмент, пластификатор, адгезионно-активный модификатор, износостойкий наполнитель, световозвращающие добавки и др., а также отдельно отвердитель. После смешивания смеси и отвердителя в бункере машины и укладки на дорожное полотно связующее взаимодействует с отвердителем с образованием пространственной сшитой структуры. В результате полимеризации разметка из пластика приобретает прочность, жесткость, водонепроницаемость и другие эксплуатационные свойства. Пластификатор снижает его хрупкость, а адгезионноактивный модификатор обеспечивает прочность сцепления наносимого слоя с поверхностью дорожного полотна. Диапазон нанесения холодных пластиков ограничен температурами от 10 до 35 °С.

На территории СНГ (в РФ) организовано производство холодного пластика для разметки (типа «Максидур») на основе метакриловой смолы и дибензоилпероксида в качестве отвердителя. Он обладает высокой атмосферо- и износостойкостью.

Для нанесения разметки холодным пластиком необходимо специализированное оборудование, которое оснащают экструзионным узлом для смешивания компонентов и выдавливания материала на обрабатываемую поверхность. Поэтому нанесение холодного пластика примерно на порядок дороже нанесения разметочной краски.

Все большее применение находят полимерные световозвращающие ленты, которые представляют собой готовые изделия. Их применяют 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 или приклеивают к дорожному полотну с помощью специальных клеев.

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 расположены оптические элементы.

Маркировочные машины различают по следующим основным признакам:

1) по способу передвижения – ручные, навесные, прицепные и самоходные;

2) по методу нанесения красок и пластиков – бескомпрессорный, пневматический, кинетический, экструзионный и гравитационный.

Большую часть машин для нанесения разметки составляют малогабаритные, в том числе ручные маркировщики. Их выполняют обычно в виде самоходных трехколесных тележек. Самоходные маркировщики размещают на специальных или автомобильных шасси в зависимости от производительности и метода нанесения маркировочных материалов.

На рисунке 2.35 представлены принципиальные схемы самых распространенных методов маркировки красками.

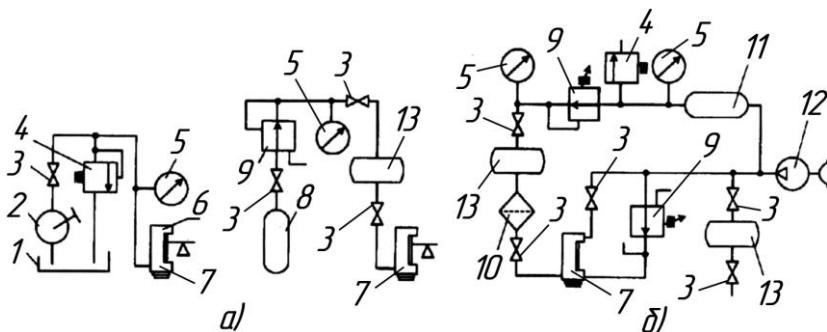


Рисунок 2.35 – Схемы бескомпрессорного (а) и пневматического (б) методов маркировки:

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

Самым экономичным в плане расхода краски считают бескомпрессорный (или безвоздушный) способ. 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 сопла и

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 2.35, *а* показаны два варианта бескомпрессорного способа, когда давление краски создают при помощи ручного насоса 2 или баллона со сжатым воздухом 8.

Более простым (по сравнению с бескомпрессорным методом) и универсальным является пневматический (или воздушный) способ распыления (см. рисунок 2.35, *б*). В составе установок, реализующих этот метод, имеется компрессор 12, который подает в систему нанесения краски сжатый воздух, который разделяют 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 размоленного материала, но характеризуется большим расходом краски и сжатого воздуха.

По такому же принципу работают установки, реализующие кинетический способ нанесения лакокрасочных составов. Материал поступает в краскораспылитель под давлением 3–12 МПа, которое создает насосная установка, и распыляется 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 способ имеет уменьшенный на 10–15% расход красок по сравнению с пневматическим способом.

При нанесении маркировочных знаков на дорожное полотно используют систему управления форсункой и оборудование, обеспечивающее автоматизированное и ручное нанесение сплошных и прерывистых линий заданных характеристик (ширины, длины и толщины).

Маркировочные машины для разметки красками размещают на специальном или автомобильном шасси. На рисунке 2.36 представлена конструктивная схема разметочной машины, реализующей кинетический способ нанесения краски. Рабочее оборудование машины размещено на платформе, установленной на раме шасси, и 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 оборудовано место для размещения обслуживающего персонала и хранения стоек ограждения. Для обеспечения заданного направления движения машина снабжена визирным устройством штангового типа, установленным спереди машины на одной оси с

краскораспылителем. Машину оборудуют дополнительно струйным насосом для механизированной заправки баков краской и растворителем.

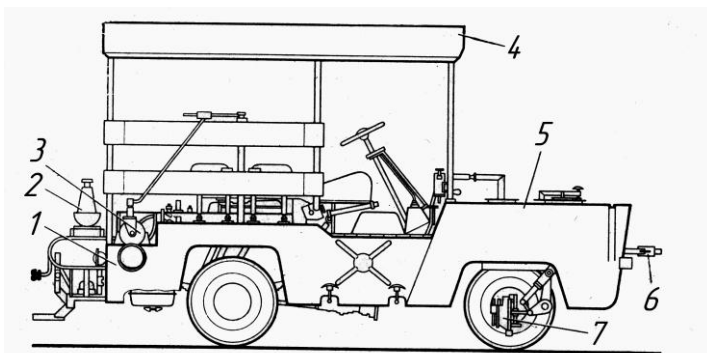


Рисунок 2.36 – Конструктивная схема машины для маркировки красками: 1 – базовое шасси; 2 – ограждение; 3 – выносной краскораспылитель; 4 – тент; 5 – бак с краской; 6 – визирное устройство; 7 – краскораспылитель

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.

Гравитационный способ 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 материалами.

Более эффективным и производительным методом нанесения пластиков является экструзионный метод, который заключается в выдавливании расплава материала из шелевой головки экструдера под высоким давлением на обрабатываемую поверхность. На рисунке 2.37 представлена конструктивная схема рабочего оборудования экструдера (компании «Hoffmann»), которое предназначено для нанесения разметки холодными пластиками. Экструдер 1 установлен на самоходной тележке с колесами 6 и 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 в

распределительную головку 7 и далее через шлицевые отверстия на обрабатываемую поверхность. Ширину и конфигурацию отверстий регулируют при помощи затворов, управляемых пневмоцилиндрами 5.

В качестве примера разностороннего подхода к проблеме маркировки можно привести дорожно-разметочный комплекс, который выпускает российский ФЦДТ «Союз». Его доставляют к месту работы с помощью грузового автомобиля. В состав комплекса входят два самоходных маркировщика на спецшасси (мощность силовой установки каждого – 33,8 кВт) – для термопластика (модель МТ-09) и краски (МТ-10), автономный котел для предварительного разогрева термопластика (на 1000 и 2000 л), а также прицеп грузоподъемностью 6 т для транспортирования маркировщиков. Маркировку термопластиком производят гравитационным способом при помощи кареток различной ширины для точного нанесения разметки, которые оснащены шиберами для управления потоком материала и системой дополнительного обогрева термопластика. Маркировку краской производят кинетическим способом.

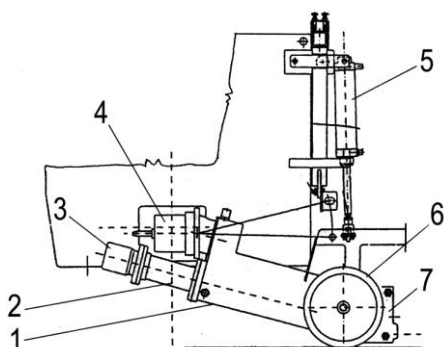


Рисунок 2.37 – Конструктивная схема экструдера для маркировки пластиками:

- 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

Кроме того, маркировщики оснащены 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 выпускает УПП «СТ и М». В числе машин, выпускаемых предприятием, самоходные и ручные машины дорожной разметки, работающие с использованием пневматического и компрессионного (кинетического) способов нанесения быстросохнущих однокомпонентных (акриловых) красок для горизонтальной разметки. В частности, машины дорожной разметки на шасси бортового автомобиля ГАЗ-33021 (модели «Шмель-1» и «Шмель-1А») обеспечивают горизонтальную разметку в автоматическом режиме с

плотностью от 0,3 до 1,0 кг/м<sup>2</sup> и погрешностью не более 1 % при движении машины с рабочей скоростью 5–15 км/ч. Машины снабжены автономным ДВС мощностью 9,7 кВт для эксплуатации рабочего оборудования, а также компрессором и ресивером, гидropомпой, резервуарами для краски (емкостью 480 л) и светоотражающих гранул (240 л). Покрасочный блок оснащен автоматическими и ручными устройствами для нанесения краски и стеклошариков. Пульт управления позволяет контролировать работу каждого распылителя и устанавливать автоматический, полуавтоматический и ручной режимы работы.

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. Как правило, они производят гамму дорожно-разметочных машин, при помощи которых можно решать любые задачи по горизонтальной и вертикальной разметке. В числе таких задач – 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 PowrLiner): от модели массой 30 кг (скорость разметки до 1,9 км/ч) до машины массой 169 кг (скорость 16 км/ч). Еще пример: немецкая компания «Winter» производит широкий спектр различных машин (ручных 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). Помимо основного оборудования, компании также выпускают дополнительное оборудование, в частности ручные демаркираторы, агрегаты для сушки покрытия, 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 2.38 показана схема форсунки распылителя. Краска поступает (в результате разрежения до 12–15 Па) в камеру смешивания 4 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  $\beta$ .

Расход краски (кг/с)

$$Q_k = q_k B_d v_p, \quad (2.63)$$

где  $q_k$  – норма расхода краски, кг/м<sup>2</sup>;

$B_d$  – наибольшая ширина маркировочной линии, м;

$v_p$  – рабочая скорость машины, м/с,

$$v_p = \begin{cases} 1,4 \text{ м/с} - \text{для улиц,} \\ 2,8 \text{ м/с} - \text{для загородных дорог.} \end{cases}$$

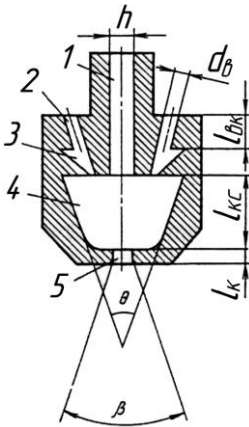


Рисунок 2.38 – Схема форсунки распылителя:  
1 – сопло для краски; 2 – воздушный канал; 3 – кольцевой зазор; 4 – камера смешивания; 5 – выходное сопло

Объем сжатого воздуха (м<sup>3</sup>/с), необходимый для распыления краски,

$$Q_B = \chi Q_k / \rho_B, \quad (2.64)$$

где  $\chi$  – коэффициент учета концентрации краски после смешивания с воздухом,  $\chi = 9,0 \dots 10,5$ ;



$\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Площадь отверстия материального сопла (м<sup>2</sup>) определяют по формуле

$$S_{\text{м}} = \frac{10}{\mu_{\text{к}}} \frac{Q_{\text{к}}}{\sqrt{20p / \rho_{\text{к}}}}, \quad (2.65)$$

где  $\mu_{\text{к}}$  – гидравлический коэффициент расхода краски,  $\mu_{\text{к}} = 0,5 \dots 0,7$ ;

$p$  – давление на срезе сопла, Па;

$\rho_{\text{к}}$  – плотность краски, кг/м<sup>3</sup>.

Материальное сопло имеет форму прямоугольной щели шириной  $h_{\text{м}} = (2 \dots 3) 10^{-3}$  м и длиной  $B_{\text{м}} = S_{\text{м}} / h_{\text{м}}$ .

Приведенный гидравлический диаметр (м) материального сопла

$$D_{\text{г}} = \frac{2B_{\text{м}}h_{\text{м}}}{B_{\text{м}} + h_{\text{м}}}. \quad (2.66)$$

Длина камеры смешивания (м) связана с гидравлическим диаметром соотношением

$$l_{\text{кс}} = \varepsilon D_{\text{г}}, \quad (2.67)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент пропорциональности,  $\varepsilon = 3,8 \dots 4,0$ .

Угол конуса камеры смешивания  $\theta = 12^{\circ}$ .

Площадь (м<sup>2</sup>) проходного сечения кольцевого воздушного зазора

$$S_{\text{кз}} = \frac{Q_{\text{в}}}{100 \sqrt{k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \frac{20}{\rho_{\text{в}}} p_{\text{в}}}}, \quad (2.68)$$

где  $k$  – показатель адиабаты расширения воздуха,  $k = 1,41$ ;

$p_{\text{в}}$  – давление воздуха, МПа;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

После подстановки численных значений

$$S_{\text{кз}} \cong \frac{Q_{\text{в}}}{45 \sqrt{p_{\text{в}}}}. \quad (2.69)$$

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 ( $\text{м}^2$ ) поперечного сечения канала выходного сопла связана с сечением материального сопла:

$$S_{\text{в}} = 2,7S_{\text{м}}. \quad (2.70)$$

Длину канала выходного сопла  $l_{\text{к}}$  принимают равной (3–4)  $10^{-3}$  м, ширину канала выходного сопла  $B_{\text{в}}$  выбирают в пределах (1,5–2,0)  $10^{-3}$  м.

*Мощность (кВт) привода компрессора для подачи воздуха*

$$N_{\text{вк}} = \frac{10^3 P_{\text{в}} (Q_{\text{в}} + Q_{\text{всп}})}{\eta_{\text{в}} \eta_{\text{пк}}}, \quad (2.71)$$

где  $Q_{\text{всп}}$  – расход воздуха для вспомогательного оборудования,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\eta_{\text{в}}$  – объемный КПД компрессора;

$\eta_{\text{пк}}$  – КПД привода компрессора.

*Высота (м) установки краскораспылителя* по отношению к обрабатываемой поверхности зависит от центрального угла распыления ( $\beta = 75 \dots 85^\circ$ ), толщины маркировочного знака и ширины канала выходного сопла

$$H_{\text{ук}} = \frac{B_{\text{л}} - B_{\text{в}}}{2 \text{tg} \frac{\beta}{2}}. \quad (2.72)$$

*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 ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) краски плунжерным насосом*

$$Q_{\text{к}} = \frac{\kappa_{\text{и}} \delta_{\text{т}} B_{\text{л}} v_{\text{р}}}{\kappa_{\text{к}} \kappa_{\text{пот}}}, \quad (2.73)$$

где  $\kappa_{\text{и}}$  – коэффициент изменения толщины слоя краски при высыхании,  $\kappa_{\text{и}} = 2,25$ ;

$\delta_{\text{т}}$  – толщина маркировочного знака,  $\delta_{\text{т}} = (60 \dots 80) 10^{-6}$

$\kappa_{\text{к}}$  – коэффициент концентрации твердой составляющей в краске,  $\kappa_{\text{к}} = 0,4 \dots 0,7$ ;

$\kappa_{\text{пот}}$  – коэффициент потерь краски при распылении,  $\kappa_{\text{пот}} = 0,90 \dots 0,95$ .

Площадь ( $\text{м}^2$ ) выходного отверстия сопла определяют по расходу краски

$$S_B = \frac{10^{-2}}{\mu_K} \frac{Q_K}{\sqrt{20 p_B / \rho_K}}, \quad (2.74)$$

где  $\mu_K$  – коэффициент расхода краски,  $\mu_K = 0,5 \dots 0,7$ ;

$p_B$  – давление краски на выходе из сопла,  $p_B = 6 \dots 10$  МПа;

$\rho_K$  – плотность краски,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Ширину щели выходного отверстия сопла  $B_B$  задают в интервале (1,5–2,0)  $10^3$  м.

Высота (м) установки краскораспылителя по отношению к обрабатываемой поверхности

$$H_{\text{ук}} = \frac{B_{\text{л}} - B_B}{2 \text{tg} \frac{\beta}{2}}, \quad (2.75)$$

где  $\beta = 51 \dots 63^\circ$ .

Частота вращения вала ( $\text{с}^{-1}$ ) плунжерного насоса высокого давления

$$n_H = \frac{Q_K}{\eta_H F_{\text{пн}} l_{\text{хп}}}, \quad (2.76)$$

где  $\eta_H$  – объемный КПД насоса,  $\eta_H = 0,58 \dots 0,86$  (меньшие значения соответствуют вязким краскам);

$F_{\text{пн}}$  – площадь плунжера (поршня) насоса,  $\text{м}^2$ ;

$l_{\text{хп}}$  – длина хода плунжера, м.

Мощность (кВт) привода плунжерного насоса

$$N_{\text{пн}} = \frac{10^3 p_H Q_K}{\eta_H^2 \eta_{\text{пн}}} = \frac{10^3 p_H F_{\text{пн}} l_{\text{хп}} n_H}{\eta_H \eta_{\text{пн}}}, \quad (2.77)$$

где  $p_H$  – давление краски на выходе насоса, МПа;

$\eta_{\text{пн}}$  – КПД привода насоса.

Объем ( $\text{м}^3$ ) ресивера высокого давления

$$V_p = \frac{p_H F_{\text{пн}} l_{\text{хп}}}{\kappa_d p_B}, \quad (2.78)$$

где  $\kappa_d$  – 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 ( $\text{м}^3$ ) гидроаккумулятора*

$$V_{\text{га}} = F_{\text{пн}} I_{\text{хп}} \left[ \frac{1}{(1 - \tau)^{0,87} - 1} + \kappa_{\text{зап}} \right], \quad (2.79)$$

где  $\tau$  – коэффициент неравномерности давления краски на входе в ресивер из-за пульсирующей подачи насоса,

$$\tau = \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{P_{\text{max}}}, \quad (2.80)$$

$P_{\text{max}}$  – максимальное и минимальное давление краски соответственно на входе в ресивер;

$\kappa_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса,  $\kappa_{\text{зап}} = 6 \dots 8$ .

*Эксплуатационная производительность ( $\text{м}^2/\text{ч}$ ) маркировочной машины* зависит от вместимости бака для краски и составляет при горизонтальной разметке

$$\Pi_3 = \frac{\kappa_b \kappa_n}{q_{\text{рк}}} \frac{V_{\text{бк}}}{T_{\text{ц}}}, \quad (2.81)$$

где  $\kappa_b$  – коэффициент использования машины по времени, учитывающий объективные потери времени;

$\kappa_n$  – коэффициент наполнения бака краской;

$V_{\text{бк}}$  – вместимость бака для краски, л;

$q_{\text{рк}}$  – удельный расход краски, л/ $\text{м}^2$ ;

$T_{\text{ц}}$  – время цикла, ч.

Цикл работы машины включает время, затраченное на разметку, окраску, проезд к месту заполнения бака краской и его заполнение краской.

*Продолжительность (ч) окраски*

$$t_{\text{окр}} = \frac{K_n V_{\text{бк}}}{q_{\text{рк}} B_{\text{л}} v_{\text{р}}} . \quad (2.82)$$

*Продолжительность (ч) переезда к месту заполнения бака краской*

$$t_{\text{пер}} = \frac{l_{\text{зб}}}{v_{\text{тр}}} , \quad (2.83)$$

где  $l_{\text{зб}}$  – расстояние от места окраски до места заправки, м;

$v_{\text{тр}}$  – транспортная скорость, м/ч.

*Демаркировщики (демаркаторы)* предназначены для удаления слоя старой разметки с поверхности дорожного покрытия без его повреждения. 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.

Для этих целей используют оборудование, принцип действия которого основан на механическом (специальными фрезами и металлическими щетками), термическом (путем выжигания), гидродинамическом (струей воды под давлением до 140 МПа), газодинамическом (струей сжатого воздуха), химическом и комбинированном воздействии на старую разметку дорожного покрытия. К комбинированным методам относятся гидropескоструйное 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 2.39 приведена схема демаркировщика фирмы «Hoffmann».

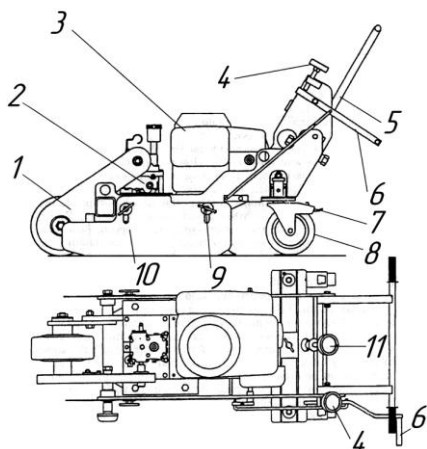


Рисунок 2.39 – Демаркировщик:  
 1 – ведущее колесо; 2 – привод отбойного устройства; 3 – двигатель;  
 4 – регулировочный винт управления глубиной обработки; 5 – рычаг управления движением машины вперед-назад; 6 – рычаг управления отбойным устройством; 7 – тормоз; 8 – заднее опорное колесо; 9 – крепление груза; 10 – дополнительные грузы; 11 – регулировочный винт управления скоростью

Он представляет собой самоходное трехколесное устройство, снабженное фрезерным рабочим органом, двигателем внутреннего сгорания мощностью около 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.

Схема рабочего органа демаркировщика приведена на рисунке 2.40.

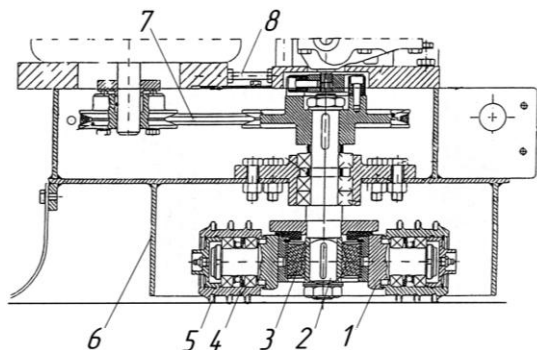


Рисунок 2.40 – Схема рабочего органа демаркировщика:  
 1 – отбойное устройство; 2 – ведущий вал; 3 – упругий элемент; 4 – отбойное колесо; 5 – зуб; 6 – кожух; 7 – клиноременная передача; 8 – натяжное устройство

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.

Кроме своих прямых функций по удалению старой разметки, демаркировщик может выполнять работы по приданию дорожному покрытию заданной степени шероховатости.

## 3 МАШИНЫ ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ И УЛИЦ

### 3.1 Особенности технологических процессов

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.

Снежно-ледяной покров дорог – это, с одной стороны, опорная поверхность, с которой взаимодействуют колеса автотранспорта, а с другой – это 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 3.1 приведены значения коэффициента сцепления колесного движителя со снежной опорной поверхностью в зависимости от состояния снега.

Таблица 3.1 – 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, 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/м<sup>3</sup> (льда) (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Характеристики снега

Снег	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Твердость*, МПа	Сопrotивление резанию, МПа	Кoэффициент сопротивления движению $K_{пер}$
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 3.3 представлены показатели коэффициента трения  $f_1$  снега по стали в зависимости от его плотности и температуры.

Таблица 3.3 – Влияние состояния снега на коэффициент его внешнего трения

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	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 реализуется 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 3.4 представлены показатели коэффициента трения  $f_2$  в зависимости от плотности и температуры снега.

**Таблица 3.4 – Влияние состояния снега на коэффициент его внутреннего трения**

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура, °С		
	+2...-1	-4	ниже -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 должны обеспечивать безаварийное передвижение транспорта по автомагистралям и его безопасный скоростной режим, комфортное передвижение пешеходов по тротуарам и переходам, а также скорое восстановление движения после экстремальных снежных заносов.

Для решения этих задач используют следующие технологические процессы:

- 1) патрульную очистку дорог и улиц, а также их расчистку от интенсивных снежных завалов;
- 2) очистку перекрестков дорог и улиц, а также тротуаров;
- 3) расчистку площадок в зонах ограниченного передвижения;
- 4) погрузку снега из валков в автотранспортные средства;
- 5) транспортирование снега в места его свалки или плавления;
- 6) 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.

Для зимнего содержания дорог используют комплекты и комплексы машин, которые обеспечивают комплексную механизацию работ по очистке от снега и его уборке. К ним относятся снегоочистители, снегопогрузчики, пескоразбрасыватели и льдоскальватели. В Беларуси машины и оборудование для уборки снега выпускают 14 предприятий.

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.

### 3.2 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:

- 1) *по типу действия рабочего органа* – сдвигающего, сдвигающе-очищающего и сдвигающе-отбрасывающего;
- 2) *по типу шасси* – пневмоколесные (на базе автомобиля, тягача и автогрейдера) и гусеничные (на базе трактора);
- 3) *по конструкции рабочего органа* – одно- и двухотвальные;
- 4) *по виду отвала* – с неповоротным и поворотным отвалом;
- 5) *по форме отвала* – с отвалом цилиндрической и конической формы;
- 6) *по виду работ* – специализированные снегоочистители и универсальные (комбинированные) машины для круглогодичного содержания дорог.

*ПС сдвигающего действия* (рисунок 3.1, а, г) выпускают в основном в виде навесного сменного оборудования к тягачам, тракторам и автогрейдером, 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.

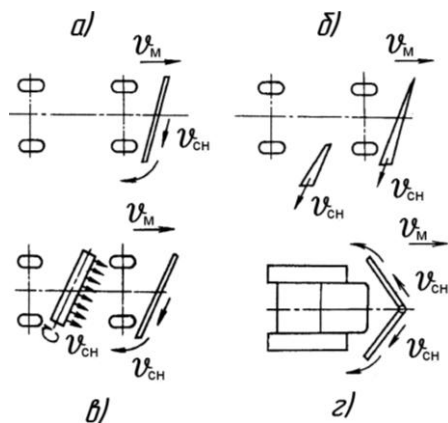


Рисунок 3.1 – Схемы плужных снегоочистителей:  
 а – одноотвальный на пневмоколесном шасси;  
 б – одноотвальный скоростной с открылком; в – плужно-щеточный; г – двухотвальный на гусеничном шасси

Наибольшая эффективность ПС сдвигающего действия достигается при очистке поверхности дорожных покрытий от свежеснегавпавшего уплотненного 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 крепится на поворотной раме, обеспечивающей заданный угол его поворота в плане. Как правило, угол между отвалом и продольной осью машины составляет  $70-90^{\circ}$ . 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 3.1, в) имеют одноотвальный плуг и цилиндрическую щетку, которые обеспечивают разработку свежеснегавпавшего снега толщиной 0,2–0,4 м со скоростью более 10–20 км/ч на пневмоколесном шасси. В таблице 3.5 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 3.1, б) разрабатывают снег толщиной до 0,2–0,4 м со скоростью более 25 км/ч. Наличие отвалов конической формы обеспечивает дальность отбрасывания

снега до 10–15 м, поэтому их используют в основном на загородных дорогах.

**Таблица 3.5 – 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
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
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 свежевыпавшего снега ряд производителей выпускают 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 свежевыпавшего 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 3.2. 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.

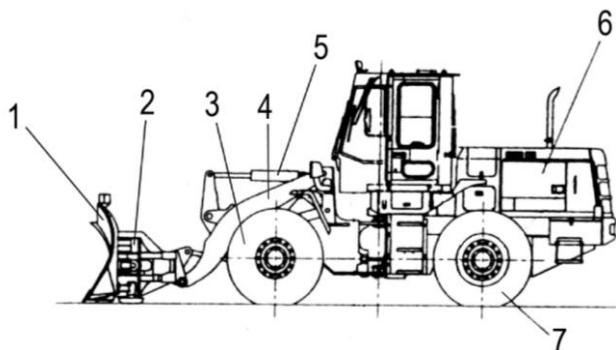


Рисунок 3.2 – Схема конструкции снегоуборочного бульдозера:  
 1 – отвал; 2 – подвеска; 3, 7 – колеса; 4 – стрела; 5 – гидроцилиндр; 6 – двигатель

Снегоуборочные бульдозеры оснащают снежными плугами многофункционального назначения, которые также расширяют технологические возможности бульдозеров. Например, японская 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 погрузки 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.

Для обеспечения расширенных технологических возможностей нередко выпускают комбинированные машины, оснащенные набором различных

агрегатов для зимнего содержания дорог, один из вариантов которых представлен на рисунке 3.3. Во-первых, снегоочиститель располагает фронтально расположенным снежным плугом 4, включающим отвал для скоростной очистки дорожных покрытий, система подвески которого обеспечивает в рабочем положении возможность его перемещения вверх и вниз для копирования профиля дорожного полотна или в случае наезда на препятствие. Подъем и опускание плуга осуществляют гидроцилиндрами двухстороннего действия. Во-вторых, ПС оснащен цилиндрической щеткой 5, которая своим ворсом (поликапроамидными волокнами или стальной проволокой) должна качественно очищать полотно при скоростях до 50–70 км/ч. Щетку диаметром по ворсу 550–750 мм с помощью кронштейнов крепят к раме машины снизу между передней и задней осями, ее подъем-опускание производят с помощью пары гидроцилиндров. Привод щетки осуществляют либо напрямую от высокомоментного гидромотора, либо от низкомоментного гидромотора через планетарный редуктор или цепную передачу. В-третьих, машину оснащают пескоразбрасывающим оборудованием, которое включает кузов, раздаточный бункер 2 с сортирующей решеткой 3 и распределитель 1. Два шестеренных насоса приводят распределитель, отвал и щетку от коробки отбора мощности, которая установлена на коробке передач.

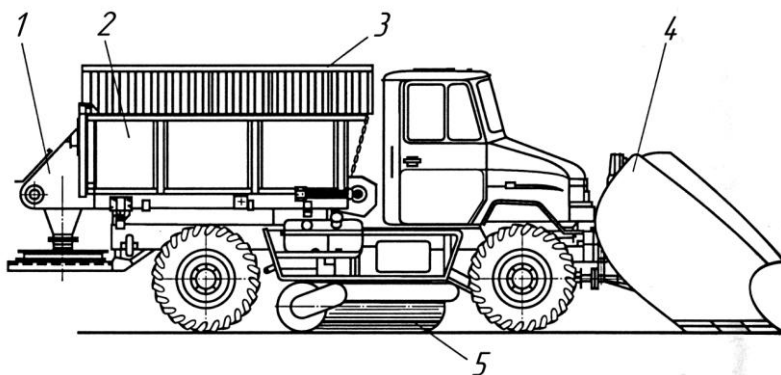


Рисунок 3.3 – Конструктивная схема снегоочистителя:

1 – распределитель сыпучих антигололедных материалов; 2 – бункер для сыпучих антигололедных материалов; 3 – сортирующая решетка; 4 – фронтальный снежный плуг для скоростной очистки; 5 – цилиндрическая щетка

На рисунке 3.4 приведена типичная кинематическая схема комбинированной машины, содержащей упомянутые агрегаты. От коробки отбора мощности 2 приводятся 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 агрегатов машины. Вращение щетке 18 дает гидромотор 21 через цилиндрическую 20 и цепную 19 передачи. Управление отвалом 17 осуществляют гидроцилиндры 14–16. Разбрасывающий диск 11 напрямую приводит гидромотор 10.

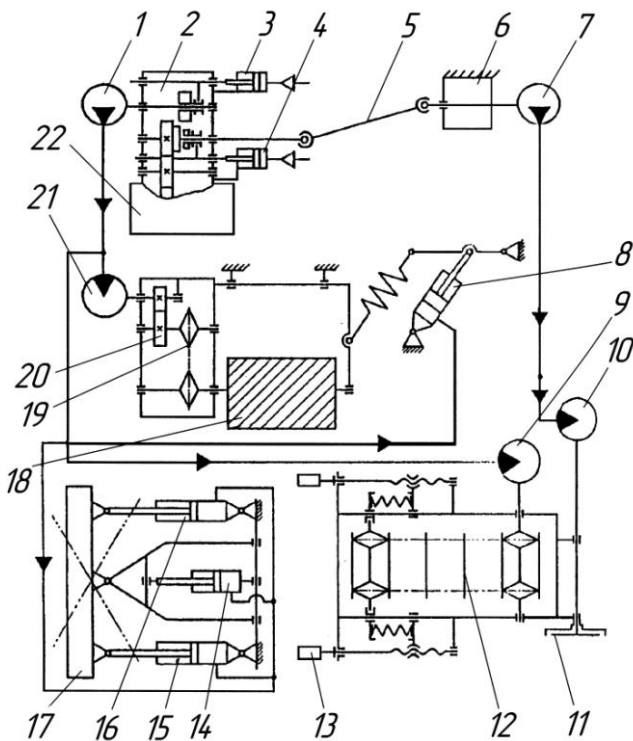


Рисунок 3.4 – Кинематическая схема комбинированной машины:

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

Снежный плуг машины состоит из отвала и механизма подвески (рисунок 3.5). 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.

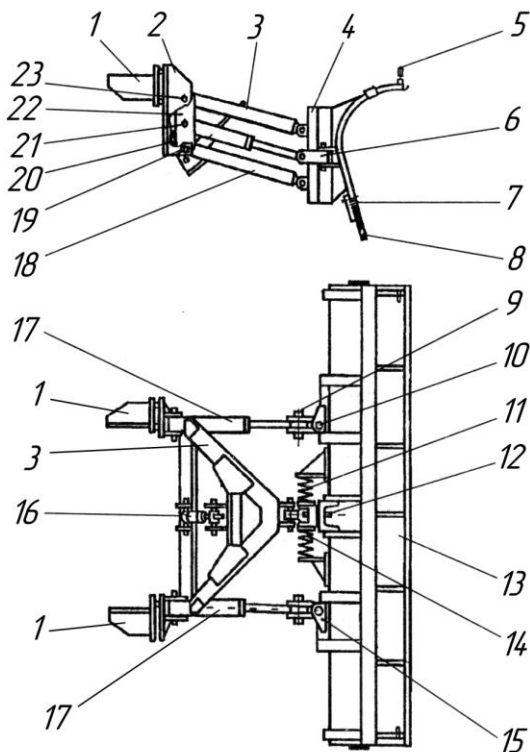


Рисунок 3.5 – Конструктивная схема поворотного отвала:

- 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

На оси центрального кронштейна 4 размещают отвал 13. Такое крепление отвала обеспечивает поперечное качание отвала вокруг горизонтальной оси на угол до  $5^{\circ}$  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  $30^0$  относительно его поперечного положения. В нижней части отвала 13 устанавливают резиновый секционный нож 8, болтовое крепление которого позволяет изменять 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.

В таблице 3.6 приведены технические характеристики некоторых комбинированных машин на базе грузовых автомобилей МАЗ и КамАЗ.

*Расчет ПС* зависит от набора рабочих органов и включает определение геометрических параметров рабочего органа, баланс мощности, тяговый расчет, оценку устойчивости машины и др.

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.

Ширину захвата щетки  $B_{щ}$  (м) принимают из выражения

$$B_{щ} = B_{ш} + (0,1..0,2), \quad (3.1)$$

где  $B_{ш}$  – расстояние между внешними поверхностями задних колес шасси, м.

В свою очередь ширина захвата плуга  $B_{пл}$  (м) должна быть больше ширины захвата щетки:

$$B_{пл} = B_{щ} + (0,2..0,3). \quad (3.2)$$

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 ПС зависит от скорости рабочего процесса. ПС, которые эксплуатируются в городе, являются тихоходными, за городом – скоростными, что отражается на наборе сопротивлений.

*Для тихоходного ПС* при взаимодействии плуга со снегом следует учитывать *сопротивления*:

- *резанию снега*  $W_p$ ;
- *перемещению призмы волочения снега*  $W_{пр}$ ;
- *перемещению снега вдоль отвала*  $W_{пер}$ ;

– передвижению машины  $W_{\text{пс}}$ .

Таким образом, общее сопротивление  $W_{\text{пл}}$  при работе плуга ПС

$$W_{\text{пл}} = W_{\text{р}} + W_{\text{пр}} + W_{\text{пер}} + W_{\text{пс}}. \quad (3.3)$$

*Сопротивление резанию* (Н) определяют по формуле

$$W_{\text{р}} = \kappa_{\text{р}} B_{\text{пл}} H_{\text{с}}, \quad (3.4)$$

где  $\kappa_{\text{р}}$  – удельное сопротивление снега резанию,  $10^{-3}$  Па,

$$\kappa_{\text{р}} = \begin{cases} 0,7 \dots 1,2 & \text{– для рыхлого,} \\ 2,0 \dots 5,0 & \text{– для слабоуплотненного,} \\ 4,0 \dots 9,0 & \text{– для плотного снега;} \end{cases}$$

$H_{\text{с}}$  – толщина срезаемого слоя снега, м.

*Сопротивление перемещению призмы волочения снега перед плугом* (Н) определяют из выражения

$$W_{\text{пр}} = f_{\text{сс}} G_{\text{пр}}, \quad (3.5)$$

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*  $W_{\text{пер}}$  (Н) связано с движением призмы волочения снега вдоль отвала:

$$W_{\text{пер}} = f_{\text{с}} f_{\text{с}} G_{\text{пр}} \cos \delta \cos \alpha, \quad (3.6)$$

где  $f_{\text{с}}$  – коэффициент трения снега по стали;

$\delta$  – угол отклонения частиц снега от перпендикуляра к поверхности отвала в сторону сдвига,  $\delta = 2 \dots 10^\circ$  в зависимости от плотности и температуры снега;

$\alpha$  – угол захвата между направлением скорости движения машины и поверхностью отвала,  $\alpha = 43 \dots 38^\circ$ .

Таблица 3.6 - Технические характеристики комбинированных машин для содержания дорог

Параметр	ЭД-244	692861	МДК-5337	МД-551	МДК-53215	КО-823
Базовое шасси	МАЗ-5337	МАЗ-5551	МАЗ-5337	КамАЗ-55111	КамАЗ-53215	КамАЗ-53229
Мощность, кВт	132	132	132	176	191	191
Вместимость кузова, м <sup>3</sup>	5,6	–	5,9	6,5	6,0	–
Вместимость цистерны, м <sup>3</sup>	7,5	8,0	9,0	5,6	10,0	14,0
Ширина рабочей зоны, м:						
при подметании	2,34	2,5	2,5	2,3	2,3	2,5
поливке	< 8,0	3,5	20,0	20,0	20,5	20,0
снегоочистке	2,6	3,4	< 3,0	2,5	4,3	2,95
распределении реагентов	< 12,0	< 7,0	< 9,0	< 7,0	< 9,0	< 9,0
Масса, т	16,0	18,0	16,0	21,0	19,3	24,0
Габариты, мм:						
длина	9500	9430	9100	10500	12200	12200
ширина	2800	3400	2850	2980	2980	2980
высота	3300	3100	3200	3000	3000	3000

*Сопротивление передвижению снегоочистителя (Н)*

$$W_{\text{пс}} = (f + i)G_{\text{пс}}, \quad (3.7)$$

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, а именно:

– силу сопротивления от волочения щетки по снегу  $W_{\text{вол}}$ ;

– силу сопротивления снега срезанию щеткой  $W_{\text{ср}}$ .

*Сила сопротивления (Н), обусловленная волочением ворса щетки по снегу,*

$$W_{\text{вол}} = f_{\text{в}} P, \quad (3.8)$$

где  $f_{\text{в}}$  – коэффициент трения ворса по заснеженному полотну,

$$f_{\text{в}} = \begin{cases} 0,35 - \text{для стального,} \\ 0,32 - \text{для капронового ворса,} \end{cases}$$

$P$  – вертикальная реакция покрытия на ворс щетки, Н,

$$P = 0,17EJ \frac{S^6}{y_{\text{к}}^8} i_{\text{щ}} \arccos \frac{y_{\text{к}} + R_{\text{г}}}{R}, \quad (3.9)$$

$E$  – 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,

$$J = 0,25\pi r_{\text{пр}}^4, \quad (3.10)$$

$r_{\text{пр}}$  – радиус поперечного сечения прутка, м;

$S$  – свободная длина прутка ворса, м,

$$S = R_{\text{щ}} - R_{\text{б}},$$

$R_{\text{щ}}$  – радиус вращения щетки, м;

$R_{\text{б}}$  – радиус барабана щетки, м;

$i_{\text{щ}}$  – общее число ворсинок;

$y_{\text{к}}$  – расстояние между ободом барабана и поверхностью дороги, м,

$$y_{\text{к}} = S - h_{\text{в}},$$

$h_{\text{в}}$  – деформация ворса, м.

*Сила сопротивления (Н), возникающая при срезании щеткой слоя снега,*

$$W_{\text{ср}} = k_{\text{р}} B_{\text{щ}} h_{\text{ос}}, \quad (3.11)$$

где  $h_{\text{ос}}$  – 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,

$$N_{\Sigma} = N_{\text{пл}} + N_{\text{пщ}} + N_{\text{дв}}, \quad (3.12)$$

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  $N_{\text{пл}}$  (кВт), обеспечивающая работу плуга,*

$$N_{\text{пл}} = W_{\text{пл}} v_{\text{р}} / 1000 \eta_{\text{тр}}, \quad (3.13)$$

где  $v_{\text{р}}$  – рабочая скорость машины, м/с;

$\eta_{\text{тр}}$  – КПД привода трансмиссии.

*Мощность  $N_{\text{пщ}}$  (кВт) привода щетки*

$$N_{\text{пщ}} = (W_{\text{вол}} + W_{\text{ср}}) v_{\text{р}} \sin \alpha_{\text{щ}} / (1000 \eta_{\text{тр}}), \quad (3.14)$$

где  $\alpha_{\text{щ}}$  – угол установки щетки.

Мощность  $N_{дв}$  (кВт) привода хода

$$N_{дв} = W_{пс} v_p / 1000 \eta_{тр} . \quad (3.15)$$

Для *быстроходного снегоочистителя* при скоростной очистке дорожного покрытия имеется методика точного расчета параметров взаимодействия рабочего органа (снежного плуга конической формы) и его геометрических параметров с учетом значительных динамических нагрузок на рабочий орган.

Однако в инженерных расчетах быстроходного снегоочистителя можно воспользоваться приведенным выше расчетом тихоходного снежного плуга, добавив два дополнительных сопротивления:

– силу инерции снега  $W_{ин}$  ;

– силу сопротивления, связанную с отбрасыванием снега  $W_{отб}$  .

Сила инерции  $W_{ин}$  (Н)

$$W_{ин} = \rho_{сн} B_{пл} H_c v_p \sin^2 \varphi / 2 . \quad (3.16)$$

где  $\rho_{сн}$  – плотность снега, кг/м<sup>3</sup>,

$$\rho_{сн} = \begin{cases} 120 \dots 180 & \text{– для рыхлого,} \\ 200 \dots 280 & \text{– для слабоуплотненного,} \\ 280 \dots 350 & \text{– для плотного снега;} \end{cases}$$

$v_p$  – рабочая скорость машины, м/с;

$\varphi$  – угол поворота отвала в вертикальной плоскости, град.

Сила сопротивления  $W_{отб}$ , возникающая при отбрасывании снега,

$$W_{отб} = \rho_{сн} B_{пл} H_c v_p^2 (1 + \cos \alpha \cos \beta) . \quad (3.17)$$

где  $\beta$  – угол между проекцией вектора скорости выброса снега к направлению движения машины, град.

*Производительность (м<sup>3</sup>/ч) плужных и щеточно-плужных снегоочистителей*

$$П_э = 1000 \kappa_B (B_{пл} - b_{пер}) H_c v_p / n_{пр} . \quad (3.18)$$

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.

### 3.3 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. Отметим, что очистка полотна от снежных заносов является самым трудоемким и дорогим технологическим процессом.

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), и *метательного аппарата (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 3.6 представлены принципиальные схемы рабочих органов раздельного (*a* – *в*) и совмещенного (*г*) типа.

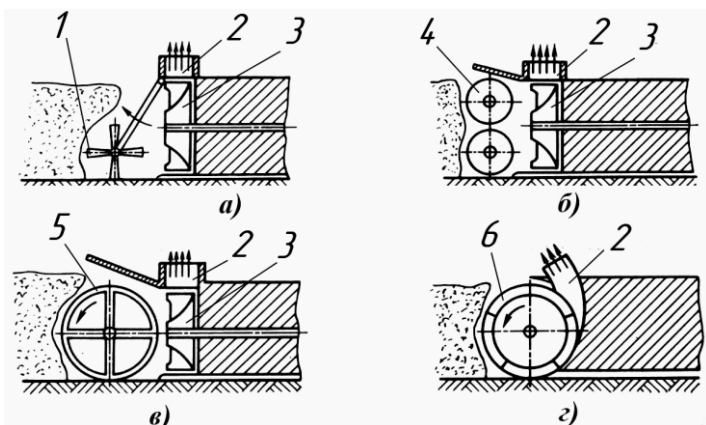


Рисунок 3.6 – Схемы рабочих органов роторных снегоочистителей:

*a*, *б*, *в* – раздельного (*a* – 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

В приводах РС используют одно- и двухмоторную 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.

Двухмоторная схема предусматривает раздельный 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 3.6, *a*) 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, например, снегоочиститель модели ЛД-27 (Камбарского завода) обеспечивает очистку железных дорог от снежных заносов высотой до 2 м.

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 3.7).



Рисунок 3.7 – Плужно-фрезерный снегоочиститель

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 «Беларус-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 (и более) шнековых питателей и роторно-лопастного метателя (см. рисунок 3.6, б). Шнеки располагают в вертикальной плоскости, они транспортируют снег к середине 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 ( $18^{\circ}$ ).

На рисунке 3.8 представлена конструкция рабочего органа шнеко-роторного снегоочистителя с двумя шнеками-питателями 2, расположенными друг над другом. Верхний и нижний шнеки разделены конусными рассекателями 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 расположено отверстие для поступления снега от шнеков к ротору. В нижней части листа установлены 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 снегоочистители могут оснащать опорными катками или использовать безопорную навеску.

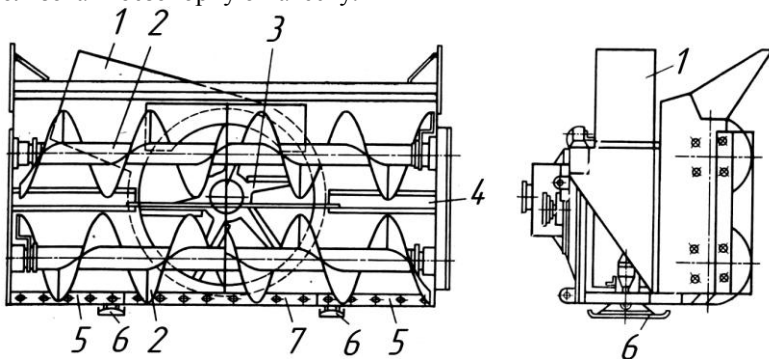


Рисунок 3.8 – Схема рабочего органа шнеко-роторного питателя:

1, 9 – патрубок выброса снега; 2 – шнек; 3 – ротор; 4 – рассекатель; 5, 7 – ножи; 6 – лыжа

Шнек является винтовым питателем, производительность которого зависит от числа заходов. Помимо однозаходных полнотенных 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 шнеко-роторного снегоочистителя имеют механический или гидравлический привод. В качестве примеров одно- и двухмоторного

механического привода шнеко-роторных снегоочистителей представлены их кинематические схемы (рисунки 3.9 и 3.10).

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.

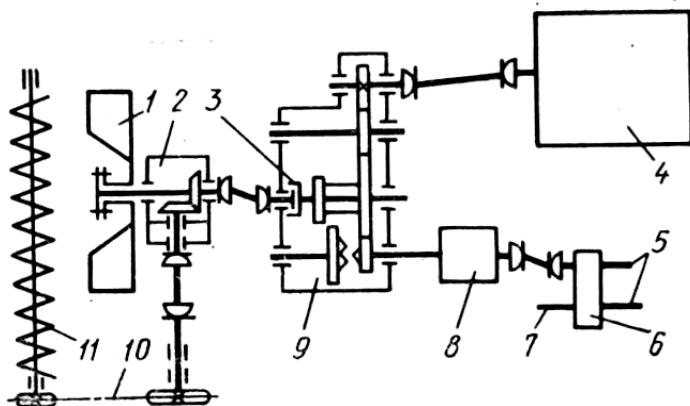


Рисунок 3.9 – Кинематическая схема одномоторного шнеко-роторного снегоочистителя:

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

Второй вариант представлен на рисунке 3.9. Один общий двигатель 4 обеспечивает привод рабочего органа (ротора 1 и шнеков 11) и ходовой системы базового шасси. Как видно из рисунка, крутящий момент на рабочие органы передается от раздаточной коробки 9 через карданную передачу и конический редуктор 2. От одного вала этого редуктора приводится ротор 1, от другого через цепную передачу 10 – шнеки 11.

При двухмоторной схеме (рисунок 3.10) 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 передачу – шнеки 1.

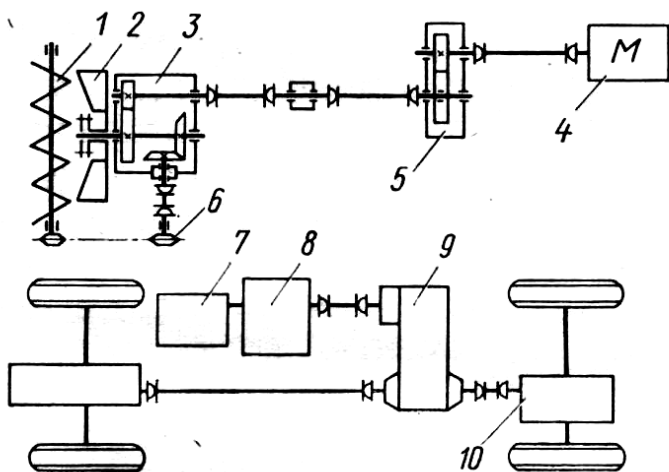


Рисунок 3.10 – Кинематическая схема двухмоторного шнеко-роторного снегоочистителя:

1 – шнек; 2 – ротор; 3 – раздаточный редуктор рабочего органа; 4 – двигатель привода рабочего органа; 5 – редуктор; 6 – цепная передача; 7 – двигатель базового шасси; 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 3.11 представлен вариант конструктивной схемы навесного шнеко-роторного снегоочистителя с приводом шнекового питателя от гидромотора, установленного на валу шнека.

Управление положением шнеков снегоочистителя, а именно их подъем и опускание, производят одним или двумя гидроцилиндрами.

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 погрузки 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.

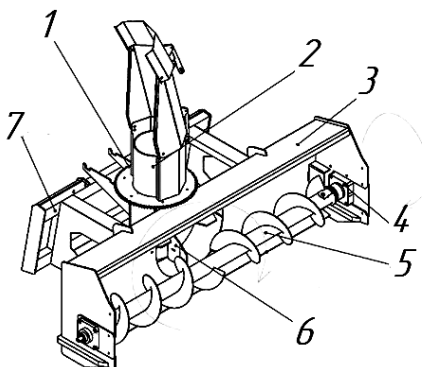


Рисунок 3.11 – Схема шнеко-роторного снегоочистителя:

- 1 – механизм перестановки патрубков;
- 2 – патрубок;
- 3 – кожух;
- 4 – гидромотор;
- 5 – шнек;
- 6 – ротор;
- 7 – монтажная плита-адаптер

Фрезерно-роторные снегоочистители оснащают рабочим органом, который состоит из фрезерного питателя и лопастного ротора-метателя (см. рисунок 3.6, в). Они предназначены для уборки дорог и улиц от свежеснежившего 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  $25^{\circ}$ . 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  $Z$  правой и левой навивки, которые смещают снег к центру рабочего органа. Фреза имеет винтовую ленточную конструкцию (рисунок 3.12) 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 опорами. В основном применяют одну центральную опору (см. рисунок 3.12), что не требует высокой точности установки фрез  $Z$  и позволяет использовать торцовые фрезы  $I$  и  $5$ .

В конструкциях фрезерно-роторных снегоочистителей в основном используют центральный привод фрез-питателей от вала ротора через зубчатую передачу.

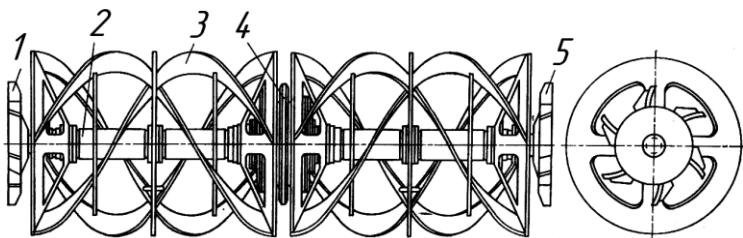


Рисунок 3.12 – Схема фрезерного питателя:  
1, 5 – торцовые фрезы; 2 – вал; 3 – основная фреза; 4 – приводная звездочка

На рисунке 3.13 представлен один из вариантов кинематической схемы фрезерно-роторного снегоочистителя на базе трактора МТЗ. 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.

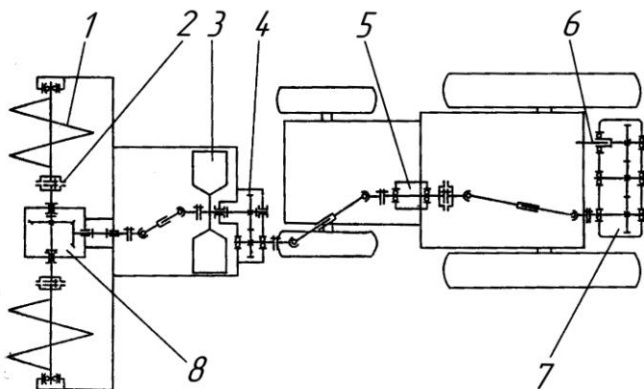


Рисунок 3.13 – Кинематическая схема механического привода рабочего органа фрезерно-роторного снегоочистителя:  
1 – фреза; 2 – предохранительная муфта; 3 – ротор; 4 – цилиндрический редуктор; 5 – промежуточная опора; 6 – задний ВОМ трактора; 7 – коробка отбора мощности; 8 – конический редуктор

На рисунке 3.14 представлен вариант кинематической схемы фрезерно-роторного снегоочистителя с гидромеханическим (с гидрообъемным компонентом) приводом, разработанного в ОАО «Амкодор-Ударник». 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.

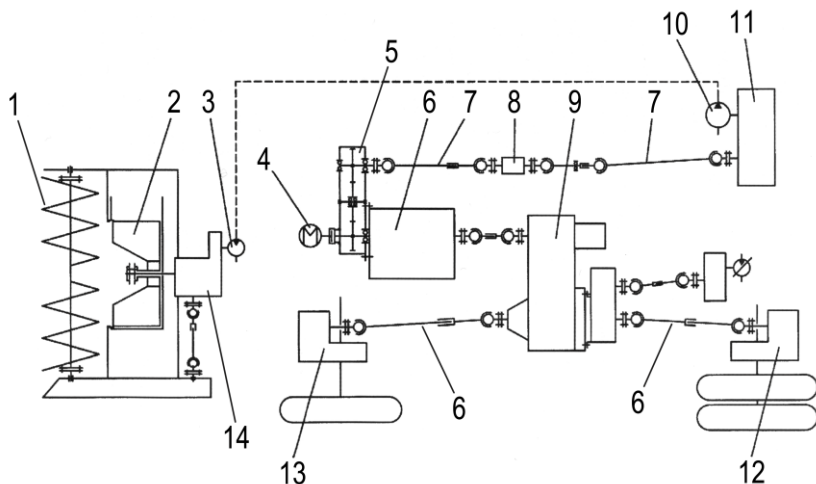


Рисунок 3.14 – Кинематическая схема гидромеханического привода рабочего органа фрезерно-роторного снегоочистителя:

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 (однуступенчатая закрытая цилиндрическая передача) – снаружи (рисунок 3.15).



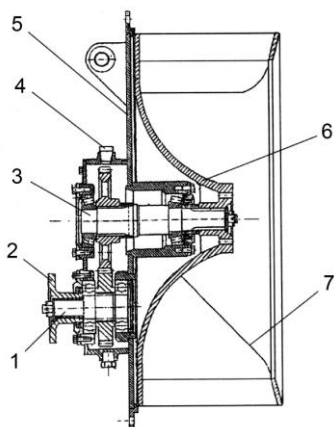


Рисунок 3.15 –  
 Конструктивная схема ротора-метателя: 1, 3 – ведущий и ведомый валы приводной передачи; 2 – фланец; 4 – пробка-сапун; 5 – корпус метателя; 6 – ротор; 7 – лопасть ротора

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 3.16).



Рисунок 3.16 – Фрезерно-роторный снегоочиститель модели «Амкодор 9211»

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.

Ведущие мировые производители машин и оборудования для зимнего содержания дорог (английская «Johnston Sweepers», немецкая «Schmidt», американская «Swenson», швейцарские «Boschung» и «Bucher-Guyet AG», шведская «Brodd Sweden AB», финская «Arctic Machine», японские компании) используют различные шасси, в том числе тракторы, грузовые автомобили, 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 качественную 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 технологического процесса 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 14 предприятий. На базе отечественных пневмоколесных тракторов МТЗ создан широкий ассортимент снегоочистителей и уборочной техники круглогодичного использования. В их числе фрезерно-роторный снегоочиститель модели ДЭМ 124 производства «Дорэлектромаш» на базе трактора МТЗ с передней навеской рабочего органа. На базе трактора МТЗ (мощность двигателя 90 кВт) разработана заводом-производителем многофункциональная уборочная коммунальная машина с набором адаптеров для зимнего и летнего содержания автомобильных дорог, а также для их реконструкции и ремонта. Машина оснащена тремя гидронавесными системами (передней, задней и боковой) с монтажными плитами, обеспечивающими быструю установку и замену легкоъемных рабочих органов.

Совместное предприятие «МАЗ-МАН» выпускает на основе фронтальных погрузчиков (базовая модель ВМЕ-1565, мощность двигателя 60 кВт) плужные снегоочистители, которые обладают расширенными технологическими возможностями благодаря изменяемой геометрии плужного рабочего органа, способной обеспечить четыре фиксированных положения снежного отвала.

Лидером отечественных производителей в этой области является компания ОАО «Амкодор», которая выпускает более 10 моделей многофункциональных снегоуборочных машин с 50 видами быстросменного навесного оборудования. В их числе фрезерно-роторный снегоочиститель с задней навеской рабочего органа (рисунки 3.17 и 3.18). Подобная компоновка агрегатов машины существенно снижает материалоемкость трансмиссии и обеспечивает широкий обзор оператору.



Рисунок 3.17 – Фрезерно-роторный снегоочиститель «Амкодор-9513»

Рабочий орган (рисунок 3.18) машины (фреза и ротор) 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.

В таблице 3.7 приведены сравнительные технические характеристики некоторых одномоторных шнеко- и фрезерно-роторных снегоочистителей, в том числе отечественного производства.

*Расчеты шнеко- и фрезерно-роторных снегоочистителей* включают оценку конструктивных, кинематических, геометрических и эксплуатационных параметров рабочих органов, тяговые расчеты, баланс мощности, прочностные расчеты элементов конструкций и рабочих органов и др.

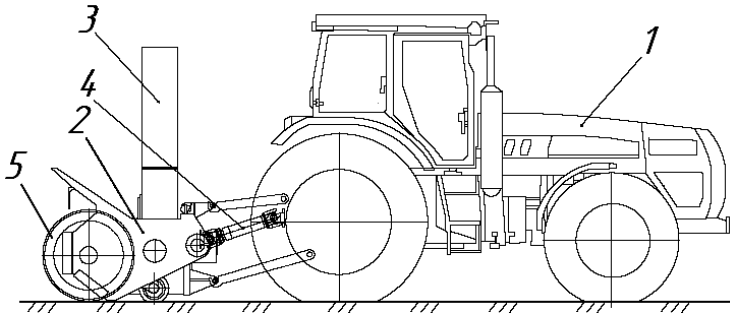


Рисунок 3.18 – Конструктивная схема снегоочистителя «Амкодор-9513»: 1 – базовый трактор; 2 – корпус рабочего органа; 3 – погрузочный желоб; 4 – карданный вал; 5 – фреза

Параметры ротора-метателя зависят от производительности снегоочистителя и его окружной скорости.

Радиус ротора-метателя (м) рассчитывают по формуле

$$R_{\text{рот}} = \Pi_{\text{со}} / (1,8k_n k_T \rho_{\text{сн}} b_{\text{рот}} v_{\text{рот}}), \quad (3.19)$$

где  $\Pi_{\text{со}}$  – техническая производительность снегоочистителя, т/ч;

$k_n$  – коэффициент наполнения ротора снегом,

$$k_n = \begin{cases} 0,25 & \text{– при скорости ротора } 20 \text{ м/с,} \\ 0,50 & \text{– при скорости } 13,5 \text{ м/с;} \end{cases}$$

$k_T$  – 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 (об/мин) связана с его окружной скоростью:

$$n_{\text{рот}} = 30v_{\text{рот}} / \pi R_{\text{рот}}. \quad (3.20)$$

Дальность отбрасывания (м) снега ротором оценивают приближенной формулой

$$L_{\text{рот}} = 0,085v_{\text{рот}}^2 \left(1 - \frac{0,0106v_{\text{рот}}}{\sqrt[4]{k_{\text{H}}\rho_{\text{сн}}}}\right). \quad (3.21)$$

Производительность роторного метателя ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) рассчитывают по формуле

$$\Pi_{\text{рот}} = \frac{k_{\text{т}}b_{\text{рот}}v_{\text{рот}}R_{\text{рот}}}{2} = \frac{\pi k_{\text{т}}n_{\text{рот}}b_{\text{рот}}R_{\text{рот}}^2}{60}. \quad (3.22)$$

Для эффективной работы снегоочистителя должно выполняться следующее соотношение:

$$\Pi_{\text{рот}} \geq \Pi_{\text{пит}} \geq \Pi_{\text{со}}, \quad (3.23)$$

где  $\Pi_{\text{пит}}$  – производительность питателя, т/ч.

Техническую производительность снегоочистителя определяют с учетом характеристик очищаемого полотна:

$$\Pi_{\text{со}} = 3,6\rho_{\text{сн}}B_{\text{пит}}H_{\text{сн}}v_{\text{со}}, \quad (3.24)$$

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 (м) питателя зависит от габаритов базового снегоочистителя:

$$B_{\text{пит}} = B_{\text{со}} + (0,3..0,4), \quad (3.25)$$

где  $B_{\text{со}}$  – ширина базового шасси, м.

Для выполнения соотношения (3.25) питатель (шнековый или фрезерный) снегоочистителя должен 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  $D_{\text{шн}} = 0,40..0,55$  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  $\varepsilon = 14..18^{\circ}$  ;

– окружная скорость шнека 8–10 м/с.

В фрезерном питателе фреза должна быть трех- или четырехзаходной и иметь следующие характеристики:

– окружная скорость фрезы 8–10 м/с;

– радиус  $R_{\text{фр}} = 0,48B_{\text{пит}}$  ;

– 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  $\delta$  – угол внешнего трения снега (по стали),  $\delta = 5..10^{\circ}$ ;

$b_{\text{фр}}$  – поступательная подача фрезы за один оборот, м,

$$b_{\text{фр}} = \frac{v_{\text{м}}}{n_{\text{фр}}z_{\text{зф}}} = \frac{2\pi v_{\text{м}}}{\omega_{\text{фр}}z_{\text{зф}}},$$

где  $n_{\text{фр}}$  – частота вращения фрезы,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\omega_{\text{фр}}$  – угловая скорость вращения фрезы;

$z_{\text{зф}}$  – число заходов фрезы;

$\varepsilon$  – 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  $N_{\text{со}}$  (кВт) должна обеспечивать работу всех механизмов и агрегатов машины:

$$N_{\text{со}} \geq N_{\text{рот}} + N_{\text{п}} + N_{\text{пер}} + N_{\text{всп}}. \quad (3.26)$$

Мощность  $N_{\text{рот}}$  (кВт) привода ротора 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  $N_{\text{под}}$ :

$$N_{\text{рот}} = \frac{\kappa_{\text{зап}}}{\eta_{\text{рот}}} (N_{\text{раз}} + N_{\text{тр}} + N_{\text{под}}), \quad (3.27)$$

где  $\kappa_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса мощности,  $\kappa_{\text{зап}} = 1,10 \dots 1,15$ ;

$\eta_{\text{рот}}$  – КПД привода лопастного ротора,  $\eta_{\text{рот}} = 0,90 \dots 0,95$ .

Мощность на разгон снега  $N_{\text{раз}}$  (кВт) определяют с учетом технической производительности снегоочистителя  $\Pi_{\text{тех}}$  (т/ч):

$$N_{\text{раз}} = \frac{\Pi_{\text{тех}} v_{\text{рот}}^2}{3600}. \quad (3.28)$$

Мощность на преодоление трения  $N_{\text{тр}}$  (кВт) рассчитывают по формуле

$$N_{\text{тр}} = \frac{\Pi_{\text{тех}} v_{\text{рот}}^2}{4500} \text{tg} \delta (2\pi - \psi_{\text{к}}), \quad (3.29)$$

где  $\psi_{\text{к}}$  – угол разгрузки ротора, рад.

Мощность на подъем снега  $N_{\text{под}}$  (кВт)

$$N_{\text{под}} = \frac{\Pi_{\text{тех}} g}{3600} (h_{\text{пат}} - 0,5H_{\text{сн}}), \quad (3.30)$$

где  $h_{\text{пат}}$  – высота патрубка направляющего устройства по отношению к уровню дорожного полотна, м.

Мощность привода (кВт) питателя (шнекового или фрезерного)

$$N_{\text{пит}} = \frac{\Pi_{\text{со}}}{3600 \eta_{\text{пит}}} \left[ \frac{\kappa_{\text{рез}}}{\rho_{\text{сн}}} + \frac{B_{\text{пит}} f_{\text{сн}} g \text{tg}(\varepsilon + \delta)}{2 \text{tg} \delta} + \frac{1}{2} \kappa_{\text{рас}} v_{\text{пит}}^2 \sin^2 \varepsilon \right], \quad (3.31)$$

где  $\kappa_{рез}$  – коэффициент удельного сопротивления снега резанию, Па (см. формулу (3.4));

$\kappa_{рас}$  – коэффициент, учитывающий распределение снега по витку питателя,  $\kappa_{рас} = 0,8 \dots 1,0$ ;

$f_{сс}$  – коэффициент внутреннего трения снега,  $f_{сс} = 0,24 \dots 0,57$ .

Для предварительных или ориентировочных расчетов мощности рабочих органов часто используют упрощенные эмпирические зависимости (3.32) и (3.33), приведенные ниже.

*Мощность (кВт) привода ротора*

$$N_{рот} = 2,72 \cdot 10^{-3} \kappa_c \omega_{рот} R_{рот} \Pi_{со}, \quad (3.32)$$

где  $\kappa_c$  – коэффициент, зависящий от скорости ротора,

$$\kappa_c = \begin{cases} 0,95 & \text{– при окружной скорости } 22 \text{ м/с,} \\ 1,30 & \text{– при скорости } 12 \text{ м/с.} \end{cases}$$

*Мощность (кВт) привода питателя*

$$N_{пит} = \alpha_{пс} \Pi_{тех} + N_{п}, \quad (3.33)$$

где  $\alpha_{пс}$  – коэффициент, зависящий от плотности снега,

$$\alpha_{пс} = \begin{cases} 0,0147 & \text{– для плотности } 350 \text{ кг/м}^3, \\ 0,0257 & \text{– для плотности } 450 \text{ кг/м}^3; \end{cases}$$

$N_{п}$  – потери мощности, зависящие от частоты вращения шнека, кВт,

$$N_{п} = \begin{cases} 3,3 & \text{– для частоты } 500 \text{ об/мин,} \\ 5,1 & \text{– для частоты } 300 \text{ об/мин.} \end{cases}$$

*Мощность привода ходовой системы  $N_{пер}$  (кВт) определяют с помощью тягового расчета. При рабочем перемещении снегоочистителя наиболее значимыми сопротивлениями являются:*

- сопротивление резанию снега  $W_{рез}$ ;
- сопротивление передвижению снегоочистителя  $W_{со}$ ;
- сопротивление скольжению рабочего органа по снегу  $W_{ск}$ .



Таким образом, *общая сила сопротивления перемещению снегоочистителя в рабочем режиме*

$$W_{\Sigma} = W_{\text{рез}} + W_{\text{со}} + W_{\text{ск}}. \quad (3.34)$$

*Сопротивление резанию снега рабочим органом (Н)*

$$W_{\text{рез}} = \kappa_{\text{рез}} F, \quad (3.35)$$

где  $F$  – площадь проекции ножей на вертикальную плоскость, перпендикулярную направлению движения машины,  $\text{м}^2$ .

*Сопротивление передвижению снегоочистителя (Н)*

$$W_{\text{со}} = (f + i)G_{\text{со}}, \quad (3.36)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления передвижению снегоочистителя;

$G_{\text{со}}$  – сила тяжести снегоочистителя, Н.

*Сопротивление скольжению рабочего органа (Н) по поверхности заснеженного дорожного полотна*

$$W_{\text{ск}} = (\text{tg}\delta + i)G_{\text{ро}}, \quad (3.37)$$

где  $G_{\text{ро}}$  – сила тяжести рабочих органов, Н.

Напомним, что *эксплуатационная производительность* отличается от технической наличием коэффициента использования машины по времени  $\kappa_{\text{в}}$ :

$$\Pi_{\text{со}} = 3,6\kappa_{\text{в}}\rho_{\text{сн}}B_{\text{пит}}H_{\text{сн}}v_{\text{со}}. \quad (3.38)$$

### 3.4 Снегопогрузочные машины

Снегопогрузочные самоходные машины или снегопогрузчики (СП) предназначены для выполнения работ по уборке снега из придорожных валов или буртов и его погрузке в транспортные средства. В соответствии с этим рабочее оборудование СП состоит из питателя (лапового или фрезерного типа), отделяющего снег от массива, и транспортирующего конвейера для его погрузки в транспортное средство.

СП классифицируют по следующим основным признакам:

- 1) *по типу шасси* – на автомобильном, тракторном и специальном;
- 2) *по приводу рабочего органа* – с механическим, гидравлическим и электрическим;
- 3) *по типу питателя* – с лаповым, шнековым и фрезерным;
- 4) *по виду погрузочного устройства* – конвейером и метателем.

На рисунке 3.19 представлены принципиальные схемы лапового, фрезерного и шнекового питателей.

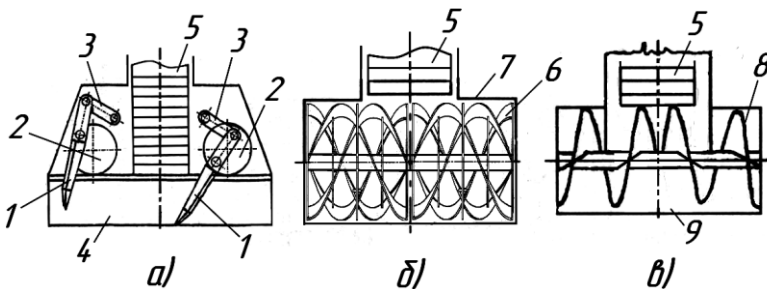


Рисунок 3.19 – Схемы питателей снегопогрузчиков:

*а* – лапового, *б* – фрезерного, *в* – шнекового типа:

- 1 – лапа; 2 – диск; 3 – тяга лапы; 4 – лопата; 5 – конвейер; 6 – фреза; 7 – кожух фрезы; 8 – шнек; 9 – кожух шнека

*СП с лаповым питателем* (рисунок 3.19, *а*), которые выпускают только в СНГ, используют в основном для уборки несслежавшего снега. Их устанавливают на шасси, которые собирают из агрегатов и конструкций серийных грузовых автомобилей (рисунок 3.20). Рабочее оборудование включает питатель в виде лопаты с двумя захватывающими лапами, расположенной перед шасси, и наклонный скребковый конвейер. Лапы представляют собой изогнутые металлические пластины, установленные симметрично продольной оси машины на кривошипах вращающихся дисках. В приемном лотке

Таблица 3.7 – Технические характеристики шнекороторных и фрезерно-роторных снегоочистителей

Параметр	Амкодор 9531-03	Амкодор 9211 (СНФ-200)	КО-721	КО-207-2	Амкодор 9511	Амкодор 9513
Рабочий орган	Ш-Р	Ф-Р	Ф-Р	Ф-Р	Ф-Р	Ф-Р
Базовое шасси	Урал-432010	МТЗ-82	МТЗ-82	МТЗ-82	Спецшасси	МТЗ-25-22
Мощность двигателя, кВт	290	55,2	59,6	59,6	243	195
Производительность, т/ч	1500	200	500	350	960	800
Ширина захвата, м	2,8	2,0	1,8	2,4	2,7	2,6
Диаметр мм: шнека/фрезы ротора	– –	/820 660	– –	/800 –	/1150 1220	/820 1050
Дальность отброса снега, м	30	25	20	16	30	25
Скорость, км/ч: рабочая транспортная	< 6,74 52	0,75 25	<1,3 30	< 5,5 20	< 15 45	< 3,42 20
Масса, т	15,2	5,0	4,9	5,1	13,0	13,0
Габариты, мм: длина ширина высота	10050 2810 3000	5100 2000 3080	5200 2050 3750	5200 2500 3500	7000 2700 3100	8150 2550 3160
Примечание – Ш-Р – шнеко-роторный; Ф-Р – фрезерно-роторный.						



Рисунок 3.20 – Снегопогрузчик Амкодор 37 (ТМ-3-01) с лаповым питателем

лопаты лапы двигаются навстречу друг другу со сдвигом по фазе, перекрывая рабочие зоны. В результате их движений снег подгребается от боковых стенок лопаты к ее середине, а затем перемещается по ленте транспортера и выгружается в транспортное средство.

На рисунке 3.21 представлена конструктивная схема отечественного снегопогрузчика с лаповым питателем, который содержит базовое шасси 1, лаповый питатель 6 и скребковый транспортер 3.

Для этого снегопогрузчика разработано специальное самоходное колесное шасси, которое представлено на рисунке 3.22. Его основой является рама 15, на которой установлены все узлы, агрегаты и рабочее оборудование снегопогрузчика. В задней части рамы на амортизаторах расположен дизельный двигатель Д-243 мощностью 59,6 кВт, который образует единый монтажный узел с редуктором отбора мощности и привода хода (РОМ). На РОМ установлены два гидронасоса привода и позиционирования рабочего оборудования и гидронасос привода хода 6. Карданные валы 14 связывают выходные валы РОМ с передним 10 и задним 1 мостами шасси.

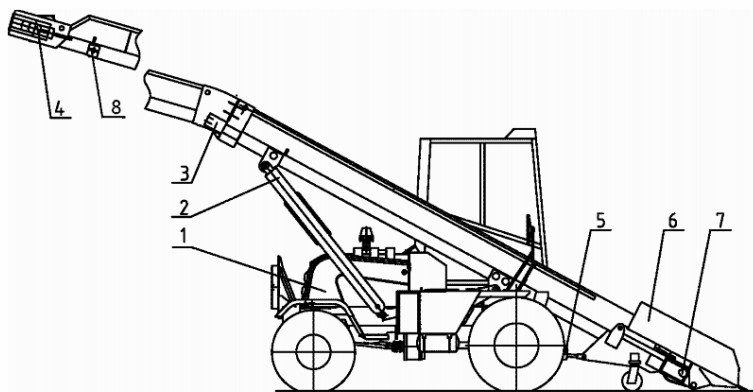


Рисунок 3.21 – Конструктивная схема снегопогрузчика Амкодор 37:  
 1 – базовое шасси; 2 – опора транспортера (гидроцилиндр); 3 – транспортер; 4, 7 – гидромоторы; 5 – гидросистема; 6 – питатель (лаповый или шнековый); 8 – система видеонаблюдения

Передвижение снегопогрузчика обеспечивается крутящим моментом, передаваемым от гидромотора через карданную передачу на ведущие мосты 1 и 10. Крутящий момент от дифференциалов мостов передается на движитель с помощью планетарных редукторов, установленных в ступицах колес переднего моста, и конических редукторов заднего моста.

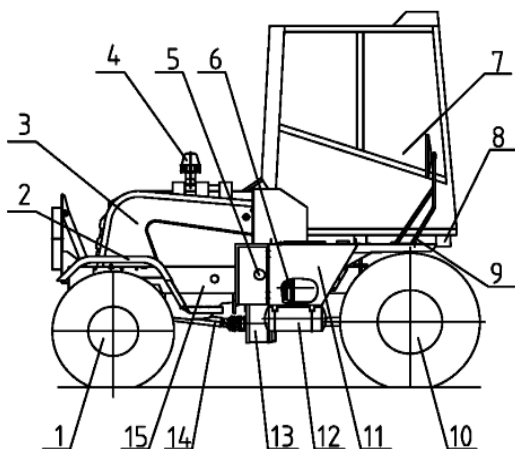


Рисунок 3.22 – Конструктивная схема шасси:  
 1 – задний ведущий мост; 2 – заднее крыло; 3 – капот; 4 – силовая установка; 5 – электросистема; 6 – насос привода хода; 7 – кабина; 8 – насос-дозатор; 9 – зеркало с кронштейнами;

10 – передний ведущий мост; 11 – топливный бак; 12 – пневмосистема; 13 – редуктор отбора мощности и привода хода; 14 – карданный вал; 15 – рама

Поворот машины производят при помощи гидросистемы рулевого управления, обеспечивающей поворот колес заднего управляемого моста.

Подъем и опускание транспортера обеспечивают гидроцилиндры 2 (см. рисунок 3.21).

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.

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 лопасти. Такой тип питателя представлен на рисунке 3.23.

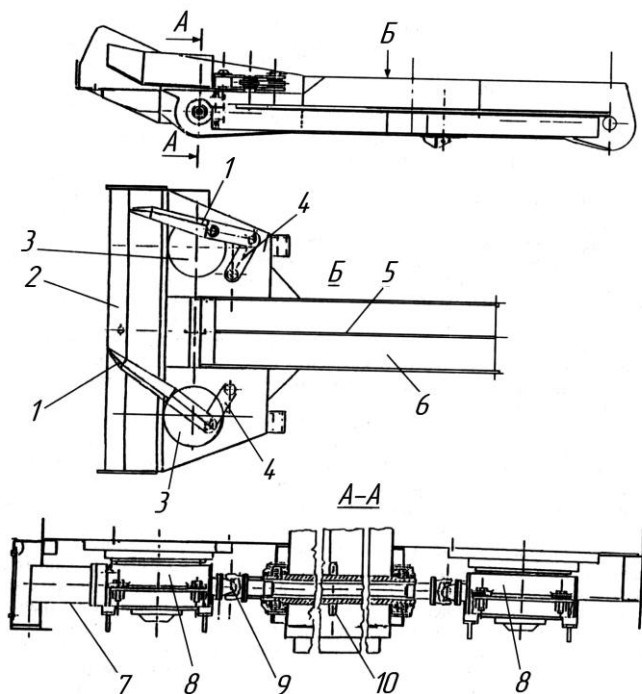


Рисунок 3.23 – Конструктивная схема питателя снегопогрузчика:

1 – лапы; 2 – нож; 3 – диски; 4 – тяги лап; 5 – направляющая; 6 – рама; 7 – гидромотор; 8 – конические редукторы; 9 – карданный вал; 10 – звездочка конвейера

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 установлена звездочка 10 скребкового конвейера. Каждая лапа 1 прикреплена на подшипниках к пальцу поворотного диска 3 редуктора 8 питателя. Конец лапы шарнирно соединен (пальцем) с тягой 4, которая, в свою очередь, шарнирно соединена (пальцем) с рамой 6 питателя. Такой рычажный механизм обеспечивает колебательное движение лап, которые поочередно захватывают снег, отправляя его в зону транспортера.

Рабочее оборудование, состоящее из лапового питателя и скребкового транспортера, имеет гидравлический привод с регулируемой скоростью вращения. На рисунке 3.24 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 13 и тормозами.

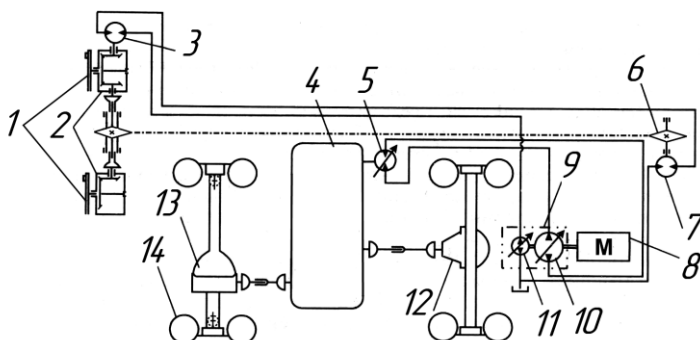


Рисунок 3.24 – Кинематическая схема снегопогрузчика с лаповым питателем:  
 1 – диски; 2 – редукторы питателя; 3 – гидромотор питателя; 4 – редуктор привода ходовых колес; 5 – гидромотор привода ходовых колес; 6 – ведущая звездочка транспортера;  
 7 – гидромотор транспортера; 8 – двигатель; 9 – блок гидронасосов; 10 – гидронасос привода хода; 11 – гидронасос привода питателя; 12 – задний мост; 13 – передний мост; 14 – колесо

Гидравлическая система СП, представленная на рисунке 3.25, 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).

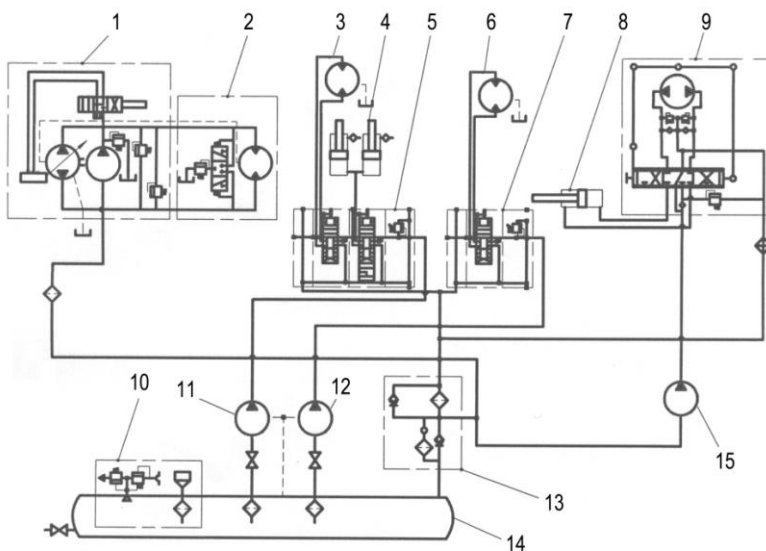


Рисунок 3.25 – Гидравлическая схема лапового погрузчика:

1 – насосный агрегат привода; 2 – гидромотор привода хода; 3 – гидромотор привода лапового питателя; 4 – гидроцилиндры подъема-опускания питателя; 5, 7 – гидрораспределители; 6 – гидромотор привода транспортера; 8 – гидроцилиндр рулевого уопаления; 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 3.19, б) относятся к машинам универсального типа, поскольку их используют не только для погрузки 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 (рисунок 3.26) 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 закреплены на



трубчатом валу радиальными кронштейнами. Питатель располагают в корпусе, который снабжен опорным механизмом в виде лыж или катков.

Рама конвейера состоит из двух частей, соединенных шарнирно, при этом его нижняя часть соединена с корпусом фрезы.

Как правило, питатели являются сменным рабочим оборудованием на базовом шасси, которое позволяет значительно расширить технологические возможности снегопогрузчика. В частности, именно такой конструктивный подход осуществлен на объединении «Амкодор».



Рисунок 3.26 – Снегопогрузчик Амкодор 37 (ТМ-3-02) с фрезерным питателем

В таблице 3.8 приведены технические и эксплуатационные характеристики снегопогрузчиков, оснащенных разгрузочным конвейером (скребковым или ленточным) и различными питателями. Помимо приведенных моделей погрузчиков, предприятие выпускает также сменное оборудование для погрузочных работ с сыпучими материалами.

Опыт эксплуатации показывает, что для погрузки снега в автосамосвалы (примерно 80 % всех работ по удалению снега с обочин) целесообразнее использовать именно снегопогрузчики, поскольку снегопогрузчик с самосвалом занимают только одну полосу движения, а снегоочиститель шнеко- или фрезерно-роторного типа (вместе с самосвалом) – две полосы движения, при этом производительность снегоочистителя при погрузке в автосамосвал используется только на 30–35 %.

Таблица 3.8 – Характеристики снегопогрузчиков «Амкодор»

Параметр	Амкодор 34		Амкодор 37	
	ТМ-3-01	ТМ-3-02	БМ	-01
Рабочий орган	ЛП	ФП	ЛП	ШП
Мощность двигателя, кВт	44,1	44,1	59,6	59,6
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	230	230	300	300
Ширина захвата, м	2,5	2,4	2,6	2,8
Скорость, км/ч:				
рабочая	< 3,6		< 5,0	
транспортная	< 16,0		< 18,0	
Масса, т	7,5		7,5	7,4
Габариты, мм:				
длина	9925		5400	
ширина	2590		2020	
высота	3685		3620	
Примечание – ЛП – лаповый питатель, ФП – фрезерный питатель, ШП – шнековый питатель, БМ – базовая модель.				

*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  $W_{ср}$  и при его перемещении по лопате  $W_{псн}$ .

*Сопротивление (Н) срезанию снега* лапами питателя

$$W_{ср} = \kappa_{ср} l_{п} h_{ср}, \quad (3.39)$$

где  $\kappa_{ср}$  – коэффициент удельного сопротивления снега срезанию, Па;

$l_{п}$  – размер полосы снега, срезаемого одной лапой за проход, в направлении подачи, м;

$h_{ср}$  – высота срезаемого лапой слоя снега, м.

Размер полосы  $l_{п}$  рассчитывают через рабочую скорость машины  $v_{сн}$  (м/с) и число проходов лапы  $n_{л}$  в единицу времени ( $c^{-1}$ ):

$$l_{п} = v_{сн} / n_{л}. \quad (3.40)$$

*Сопротивление (Н) перемещению срезанного лопой объема снега по поверхности лопаты*

$$W_{\text{псн}} = (f_c \cos \gamma_{\text{л}} + \sin \gamma_{\text{л}}) m_{\text{сн}} g, \quad (3.41)$$

где  $\gamma_{\text{л}}$  – угол наклона лопаты к горизонту, град;

$m_{\text{сн}}$  – масса снега, срезаемого за рабочий ход одной лопой и перемещаемого к конвейеру, кг.

*Массу (кг) рассчитывают с учетом объема срезанного снега*

$$m_{\text{сн}} = \rho_{\text{сн}} l_{\text{п}} B_{\text{зах}} h_{\text{ср}}, \quad (3.42)$$

где  $B_{\text{зах}}$  – ширина захвата снегопогрузчика, м.

*При работе транспортера учитывают силы сопротивления, обусловленные перемещением  $W_c$  и подъемом снега  $W_{\text{пст}}$  транспортером, а также силу сопротивления, возникающую при движении самого транспортера  $W_{\text{тр}}$ .*

*Сопротивление (Н) при перемещении снега транспортером*

$$W_{\text{стр}} = f_{\text{стр}} m_{\text{стр}} g \cos \beta_{\text{тр}}, \quad (3.43)$$

где  $f_{\text{стр}}$  – коэффициент трения снега по транспортеру;

$m_{\text{стр}}$  – масса снега, находящегося на транспортере, кг;

$\beta_{\text{тр}}$  – угол наклона транспортера, град.

*Массу снега (кг) определяют, исходя из производительности снегопогрузчика  $\Pi_{\text{спс}}$  (кг/с):*

$$m_{\text{стр}} = \Pi_{\text{спс}} L_{\text{тр}} / v_{\text{тр}}, \quad (3.44)$$

где  $L_{\text{тр}}$  – длина транспортера, м;

$v_{\text{тр}}$  – скорость транспортера, м/с.

*Сопротивление (Н), обусловленное подъемом снега при помощи транспортера,*

$$W_{\text{пст}} = m_{\text{стр}} g \sin \beta_{\text{тр}}. \quad (3.45)$$

*Сопrotивление (Н), возникающее при движении транспорта,*

$$W_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} m_{\text{тр}} g \cos \beta_{\text{тр}}, \quad (3.46)$$

где  $f_{\text{тр}}$  – коэффициент сопротивления передвижению транспорта;

$m_{\text{тр}}$  – масса транспорта, кг.

Кроме того, следует учитывать силы сопротивления, возникающие при взаимодействии лопаты со снегом, и силу сопротивления перемещению самого снегопогрузчика.

Соответственно, *сопротивление (Н), вызванное врезанием ножа лопаты в снег*, рассчитывают по формуле

$$W_{\text{вр}} = \kappa_{\text{ср}} B_{\text{зах}} h_{\text{сл}}, \quad (3.47)$$

где  $h_{\text{сл}}$  – средняя толщина слоя снега, срезаемого лопатой, м.

Сопротивление (Н), обусловленное перемещением лопаты,

$$W_{\text{пл}} = (f_{\text{смп}} + i) m_{\text{л}} g, \quad (3.48)$$

где  $f_{\text{смп}}$  – коэффициент трения стали по материалу дорожного покрытия;

$m_{\text{л}}$  – масса лопаты, кг.

*Силу сопротивления (Н) перемещению снегопогрузчика* определяют из выражения

$$W_{\text{сп}} = (f_{\text{кач}} + i)(m_{\text{сп}} - m_{\text{л}})g, \quad (3.49)$$

где  $f_{\text{кач}}$  – коэффициент сопротивления качению;

$m_{\text{сп}}$  – масса снегопогрузчика, кг.

Мощность, требуемая для работы лапового снегопогрузчика, включает мощность на привод рабочих органов через коробку отбора мощности  $N_{\text{ро}}$  и мощность на привод механизма передвижения  $N_{\text{пер}}$  снегопогрузчика. Соответственно,

$$N_{\Sigma} = N_{po} + N_{пер} \cdot \quad (3.50)$$

Мощность  $N_{po}$  (кВт) привода рабочих органов, передаваемую через коробку отбора мощности,

$$N_{po} = \frac{2k_d(W_{cp}B_{зах}/2 + W_{псн}l_{лт})n}{1000\eta_{пит}} + \frac{k_{пц}(W_{стр} + W_{пст} + W_{тр})v_{тр}}{1000\eta_{тр}}, \quad (3.51)$$

где  $k_d$  – коэффициент, учитывающий действие динамических нагрузок,  $k_d = 1,6 \dots 1,7$ ;

$l_{лт}$  – длина пути перемещения снега лапой к конвейеру, м;

$n$  – число лап,  $n = 2$ ;

$k_{пц}$  – коэффициент, характеризующий сопротивление в подшипниках звездочек цепи транспортера,  $k_{пц} = 1,25$ ;

$\eta_{пит}$  – КПД трансмиссии от двигателя к питателю;

$\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии от двигателя к транспортеру.

Мощность привода ведущих колес снегопогрузчика  $N_{пер}$  (кВт)

$$N_{пер} = \frac{(W_{вр} + W_{пл} + W_{сп})v_{сп}}{1000\eta_{сп}}, \quad (3.52)$$

где  $\eta_{сп}$  – КПД трансмиссии от двигателя к ведущим колесам.

Расчет фрезерного погрузчика также включает баланс мощности, определение 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  $W_{фр}$ ;
- при подъеме снега  $W_{пс}$ ;
- при движении ленты транспортера  $W_{лт}$ ;
- при перемещении питателя  $W_{фп}$ ;
- при перемещении снегопогрузчика  $W_{сп}$ .

*Сопротивление* (Н) *срезанию снега фрезой* является величиной переменной, зависящей от положения лопасти,

$$W_{\text{фр}} = k_{\text{ср}} b_1 c_1 \sin \theta, \quad (3.53)$$

где  $b_1$  – ширина полосы, вырезаемая лопастью фрезы-питателя, м,

$$b_1 = \frac{B_{\text{зах}}}{2}, \quad (3.54)$$

где  $c_1$  – подача питателя за один оборот, м,

$$c_1 = v_{\text{сн}} / z n_{\text{фр}},$$

$n_{\text{фр}}$  – частота вращения фрезы, об/с;

$z$  – число заходов фрезы;

$\theta$  – угол, определяющий положение лопасти, град.

Для оценки мощности на фрезерование снега необходимо оценить затраты энергии на его срезание и отбрасывание при движении фрезы.

*Затраты энергии (Дж) на срезание снега*

$$A_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{ср}} b_1 R_{\text{фр}} v_{\text{сн}} (1 - \cos \theta_0)}{n_{\text{фр}} z}, \quad (3.55)$$

где  $R_{\text{фр}}$  – радиус фрезы, м;

$\theta_0$  – угол, определяющий высоту разрабатываемого слоя снега, град.

*Затраты энергии (Дж) на отбрасывание снега*

$$A_{\text{от}} = \frac{1}{2} k_{\text{рс}} m_1 R_{\text{фр}} \omega^2 \sin^2 \alpha, \quad (3.56)$$

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 фрезы,

кг;

$\omega$  – угловая скорость вращения фрезы,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\alpha$  – угол наклона винтовой линии фрезы, град,

$$\alpha = \arctg \left[ S_{\text{фр}} / 2\pi R \right],$$

$S_{\text{фр}}$  – шаг фрезы, м.

*Затраты энергии (Дж) при перемещении снега фрезой к транспортеру в единицу времени*

$$A_{\text{нф}} = \frac{f_{\text{ср}} \Pi_{\text{снс}} g B_{\text{зах}}}{2}, \quad (3.57)$$

где  $\Pi_{\text{снс}}$  – производительность машины в секунду, кг/с.

Общие затраты энергии (в единицу времени) при перемещении снега фрезой с учетом потерь на трение между лопастями и снегом, т.е. *мощность, необходимая для перемещения снега фрезой,*

$$N_{\text{псф}} = A_{\text{нф}} \frac{\text{tg}(\alpha + \delta)}{\text{tg}\alpha}. \quad (3.58)$$

где  $\delta$  – 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  $W_{\text{пс}}$  (Н) при подъеме снега*

$$W_{\text{пс}} = m_{\text{стр}} g \sin \beta_{\text{тр}}, \quad (3.59)$$

где  $m_{\text{стр}}$  – масса снега на транспортере, кг,

в свою очередь,

$$m_{\text{стр}} = \Pi_{\text{снс}} L_{\text{тр}} / v_{\text{тр}}.$$

*Сопротивление  $W_{\text{лт}}$  (Н) при движении ленты транспортера*

$$W_{\text{лт}} = \kappa_{\text{рол}} (m_{\text{л}} + m_{\text{стр}} + m_{\text{рол}}) g \cos \beta_{\text{тр}}, \quad (3.60)$$

где  $\kappa_{\text{рол}}$  – коэффициент сопротивления в опорах транспортера,  $\kappa_{\text{рол}} = 0,02 \dots 0,04$ ;

$m_{\text{л}}$  – масса ленты транспортера, кг;

$m_{\text{рол}}$  – масса поддерживающих роликов, кг.

Таким образом, *мощность* (кВт), *необходимая для привода рабочих органов*, т.е. питателя и конвейера,

$$N_{\text{по}} = \frac{2(A_{\text{ср}} + A_{\text{от}})n_{\text{фр}}z_{\text{фр}}}{1000\eta_{\text{питг}}} + \frac{(W_{\text{пс}} + W_{\text{лт}})v_{\text{тр}}}{1000\eta_{\text{тр}}} + N_{\text{псф}}. \quad (3.61)$$

*Сопротивление (Н) перемещению фрезерного питателя*

$$W_{\text{пл}} = (f_{\text{смп}} + i)m_{\text{фп}}g, \quad (3.62)$$

где  $m_{\text{фп}}$  – масса фрезерного питателя, приходящаяся на дорожное полотно, кг.

*Сопротивление  $W_{\text{сп}}$  (Н) перемещению снегопогрузчика*

$$W_{\text{сп}} = (f_{\text{кач}} + i)(m_{\text{сп}} - m_{\text{фп}})g. \quad (3.63)$$

*Техническую производительность (м<sup>3</sup>/ч) СП при непрерывной погрузке снега* рассчитывают по формуле

$$П_{\text{сп}} = 3600B_{\text{зах}}h_{\text{ср}}v_{\text{сп}}. \quad (3.64)$$

При оценке эксплуатационной производительности учитывают обеспеченность рабочего процесса машинами для погрузки снега, а также перерывы в работе, связанные с маневрированием машин.

При полной обеспеченности машинами *эксплуатационную производительность* (м<sup>3</sup>/ч) рассчитывают по формуле

$$П_{\text{сп}} = 3600k_{\text{в}}B_{\text{зах}}h_{\text{ср}}v_{\text{сп}}(3600 - n_{\text{м}}t_{\text{ман}}), \quad (3.65)$$

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.



### 3.5 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:

- 1) *по типу ходовой системы* – гусеничные и пневмоколесные;
- 2) *по производительности* – легкого, среднего и тяжелого класса;
- 3) *по типу силовой установки* – с электрическим и карбюраторным двигателем внутреннего сгорания;
- 4) *по типу рабочего органа* – с отдельным (шнеко- или фрезерно-роторным оборудованием) и совмещенным (шнековым с отбрасывающими лопатками) рабочим органом ;
- 5) *по виду привода рабочего органа* – с механическим (ременной, цепной и червячной передачей) и гидрообъемным;
- 6) *по типу привода шасси* – ручные и самоходные;
- 7) *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, трансмиссией и рабочим органом (рисунок 3.27). Рабочий орган самоходных машин содержит шнековый или фрезерный питатель и роторный метатель. Питатель состоит из двух соосно расположенных горизонтальных фрез (см. рисунок 3.27) или шнеков (см. рисунок 3.11) с правой и левой навивкой, которые при вращении обеспечивают подачу снега к ротору. Ротор через патрубок в виде желоба направляет и откидывает снег в заданном направлении на требуемое расстояние. Концептуально конструктивная схема снегоочистителя со шнековым питателем мало отличается от схемы, представленной на рисунке 3.11.

В ряде случаев снегоочистительное оборудование производят как навеску для мотоблоков, в которой шнек с отбрасывающими лопатками выполняет функции и питателя, и метателя.

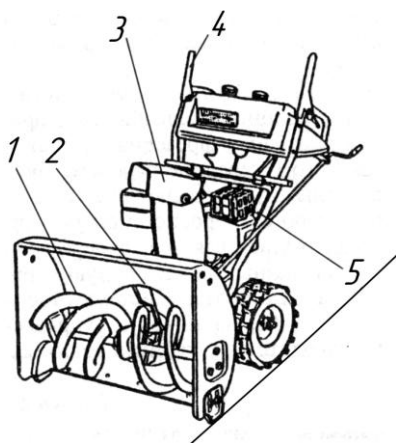


Рисунок 3.27 –  
Малогабаритный  
снегоочиститель с ручным  
управлением:  
1 – фрезерно-роторный рабочий  
орган; 2 – направляющий  
патрубок потока снега;  
3 – рукоять управления; 4 – пульт  
управления;  
5 – электростартер

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 свежесвыпавшего 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 свежесвыпавшего, 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 др.) 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 оснащены 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 оснащены 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 двигателя 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 3.9). Как видно из таблицы, 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 свежеснежавшего снега, в том числе навесное рабочее оборудование для мотоблоков РС-80 и СН-1М (рисунок 3.28).

Таблица 3.9 – Технические характеристики ручных снегоборочных 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.									

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 м<sup>2</sup>/ч при ширине захвата 0,93 м.



Рисунок 3.28 – Снегоочиститель-насадка СН-1М

Как и в полноразмерных машинах с отдельным рабочим органом, снегоуборочное оборудование (рисунок 3.29) включает шнеко-роторный питатель 1 и роторный метатель 10. Привод рабочего оборудования механический (рисунок 3.30) от силовой установки мотоблока.

### 3.6 Скалыватели льда и уплотненного снега

*Скалыватели* служат для рыхления и механического удаления льда и смерзшегося снега с поверхности дорожных покрытий. Их разделяют по принципу действия рабочего органа на две группы, которые имеют оборудование с рабочим органом пассивного или активного типа. В качестве базового шасси используют тракторы, автогрейдеры, бульдозеры и автотранспортные средства.

*Скалыватели пассивного типа* обычно имеют два ножа, закрепленные неподвижно относительно шасси машины перед ее задними ведущими колесами. При ее перемещении ножи разрыхляют две полосы уплотненного снега только перед задними колесами. Сплошная полоса дорожного

покрытия, очищенная от снега и льда, образуется, как правило, после двух проходов машины.

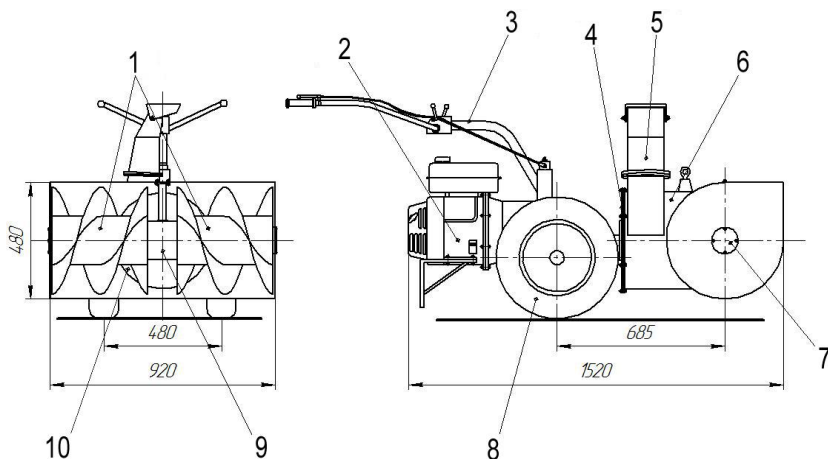


Рисунок 3.29 – Навесной снегоочиститель модели СН-1М:

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

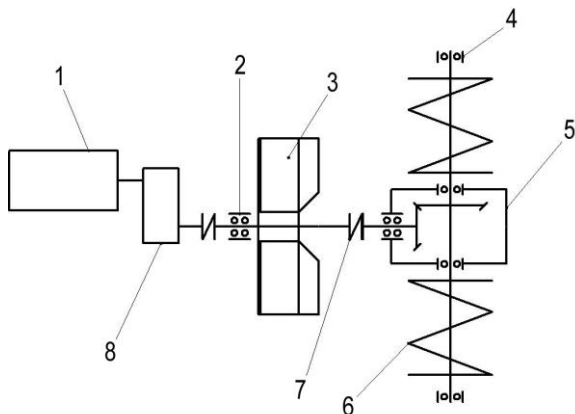


Рисунок 3.30 –  
Кинематическая схема  
навесного  
снегоочистителя:

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

На рисунке 3.31 представлена схема машины на базе МТЗ, содержащая пассивный рабочий орган. Он представляет собой два гребенчатых ножа 4 (с двухсторонней заточкой), которые установлены 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 убирает цилиндрическая щетка 6.

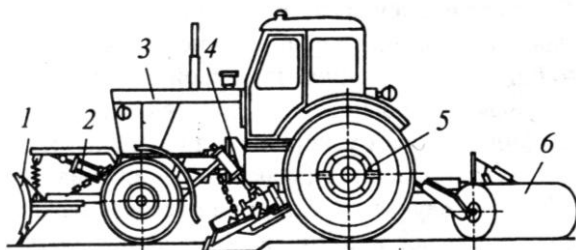


Рисунок 3.31 –  
Снегоочиститель со  
скалывателем  
уплотненного снега:  
1 – снегоуборочный отвал;  
2 – гидроцилиндр  
управления отвалом;  
3 – базовая машина  
4 – устройство для  
скалывания льда;  
5 – груз;  
6 – цилиндрическая щетка

На рисунке 3.32 представлена схема варианта рабочего оборудования. Неподвижные ножи 4 гребенчатой формы установлены на плитах 1, закрепленных на раме 5 четырехзвенным рычажным механизмом. Эта рама, в свою очередь, при помощи шарниров закреплена на основной раме 2. Основная рама прикреплена шарнирами к двум кронштейнам, установленным на балке заднего моста трактора, и при помощи двух гидроцилиндров перемещается вниз в рабочее и вверх в транспортное положение. Ножи при помощи этой системы устанавливаются так, чтобы их режущие кромки были расположены на высоте 2–3 мм от поверхности дорожного полотна, при этом копирующее предохранительное устройство обеспечивает изменение положения ножей при их встрече с препятствием на дорожном полотне. Оно представляет собой клапан 8 с большим диапазоном регулирования, который связан с полостью гидроцилиндра 6 ножа. Регулируя степень сжатия пружины клапана, создают заданное давление в гидроцилиндре ножа и соответствующую силу прижатия ножа к обрабатываемому полотну. При контакте ножа с препятствием клапан сжимает пружину и открывает проходное отверстие для перетекания рабочей жидкости из одной полости гидроцилиндра в другую. В результате поршень цилиндра перемещается и обеспечивает движение ножа вверх.

*Скалыватели с рабочими органами активного действия* являются более эффективным средством очистки дорожного полотна от снега и льда. В качестве рабочего оборудования используют вибрирующие ножи или навесные фрезы.

Фреза для скалывания и фрезеровки льда представляет собой сменное навесное оборудование для трактора. Имеется несколько вариантов конструкции фрезы.

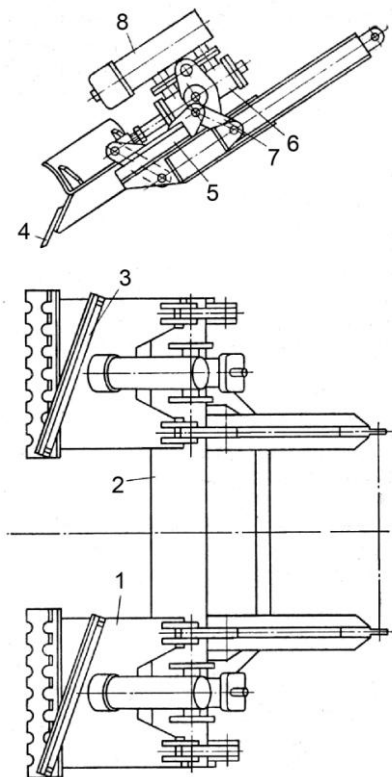


Рисунок 3.32 – Схема скальвателя с пассивным рабочим органом:

1 – плита (площадка); 2 – основная рама; 3 – отвал; 4 – нож; 5 – рама четырехзвенного механизма; 6 – гидроцилиндр ножа; 7 – рычаг четырехзвенного механизма; 8 – клапан

Наиболее простой вариант – 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 ФЛД-2500) на шасси трактора МТЗ-80/82. Два фрезерных барабана, которые приводят от ВОМ трактора, позволяют обрабатывать полосу шириной 2400 мм при толщине скальваемого льда до 100 мм. Расстояние от режущей кромки резцов до дорожного полотна регулируют с помощью опорных металлических колес. Помимо скальвания льда, фреза обеспечивает заданную степень шероховатости льда.



Более эффективной и гибкой в технологическом плане является конструкция скальвателя льда, рабочее оборудование которого обеспечивает изменение положения режущих элементов в зависимости от рельефа и твердости обрабатываемой поверхности. На рисунке 3.33 представлена конструктивная схема скальвателя 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. Диски 5 насажены 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.

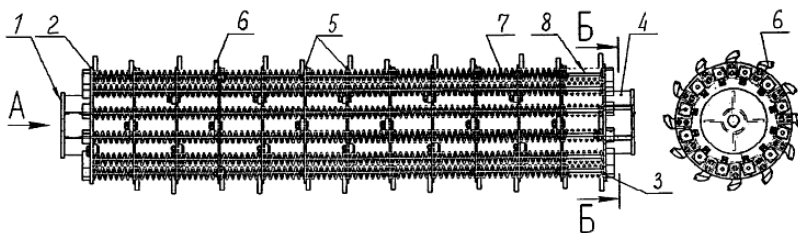


Рисунок 3.33 – Конструктивная схема рабочего органа скальвателя льда:  
 1 – вал; 2, 3 – ведущие диски; 4 – полумуфта; 5 – рабочие диски; 6 – резцы; 7 – проставочная пружина; 8 – канат

Скальватель навешивают на трактор типа МТЗ вместо цилиндрической щетки. Обработку обледеневшей поверхности дорожного полотна производят следующим образом. При вращении ведущего вала резцы врезаются в лед, производя его скальвание. При наезде на выпуклости или неровности полотна резцы огибают их за счет гибкости всей конструкции рабочего органа.

Подобная конструкция реализована в скальвателе льда (модели УДМ-2000) компании «УфаДорМаш» (рисунок 3.34). Его рабочее оборудование состоит из 11–12 рабочих дисков с 6 твердосплавными резцами на каждом. Диски закреплены на 12 натянутых тросах и подпружинены винтообразными пружинами, установленными соосно тросам. Такая подвеска рабочего оборудования обеспечивает срезание льда без разрушения дорожного полотна, а также увеличенный срок режущих элементов благодаря амортизации гибкими канатами и подвижности дисков в осевом и радиальном направлениях. Вращение рабочего оборудования осуществляют при помощи 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 гидравлического привода.

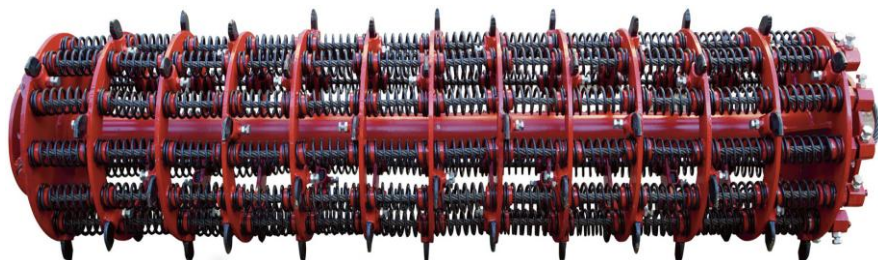


Рисунок 3.34 – Скальватель льда с активным рабочим органом модели УДМ-2000

Скальватель снабжают сменными насадками, которые расширяют его технологические возможности. На рисунке 3.35 показаны два типа сменных насадок, которые обеспечивают эффективную очистку покрытия от уплотненного снега и льда.



Рисунок 3.35 – Сменные насадки на скальватель льда модели УДМ-2000

Первая насадка имеет в качестве режущего ударного элемента торцы тросов, которые повышают эффективность очистки покрытия от уплотненного снега.

У второй насадки режущим элементом является гребенчатый нож, который обеспечивает качественное срезание ледяного слоя без повреждения дорожного полотна.

*Расчет скальвателя*, оснащенного неподвижными ножами, включает оценку силового воздействия рабочего органа на уплотненный снег при его скальвании, 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, а также малой толщины;
- 2) слой снега малой плотности и прочности, а также 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  $30^0$  к обрабатываемой поверхности. С учетом этого эффекта и силы трения, возникающей при скалывании снега, горизонтальную  $W_{\text{ск}}$  и вертикальную  $R_{\text{в}}$  составляющие (Н) силы сопротивления снега скалыванию определяют по формулам

$$W_{\text{ск}} = \frac{k_{\text{ск}} b_{\text{н}} h_{\text{сн}}}{\sin \beta} (\sin \beta + f_{\text{сн}} \cos \beta) \quad (3.66)$$

и

$$R_{\text{в}} = \frac{k_{\text{ск}} b_{\text{н}} h_{\text{сн}}}{\sin \beta} (\cos \beta - f_{\text{сн}} \sin \beta), \quad (3.67)$$

где  $k_{\text{ск}}$  – коэффициент удельного сопротивления скалыванию снега, Па;

$b_{\text{н}}$  – ширина ножа, м;

$h_{\text{сн}}$  – толщина скалываемого слоя снега, м;

$\beta$  – угол наклона срезаемого слоя снега при скалывании,  $\beta = 30^0$ ;

$f_{\text{сн}}$  – коэффициент трения стали по снегу.

Для слоя снега малой плотности и прочности (второй вид снежного покрова) составляющие (Н) силы сопротивления снега скалыванию определяют по формулам

$$W_{\text{ск}} = \frac{k_{\text{ск}} b_{\text{н}} h_{\text{сн}}}{\sin \gamma} (\sin \gamma + f_{\text{сн}} \cos \gamma) \quad (3.68)$$

и

$$R_{\text{в}} = \frac{k_{\text{ск}} b_{\text{н}} h_{\text{сн}}}{\sin \gamma} (f_{\text{сн}} \sin \gamma - \cos \gamma). \quad (3.69)$$

Если,  $b_{\text{н}} \geq 200$  мм, коэффициент  $k_{\text{ск}}$  определяют из выражения

$$k_{\text{ск}} = 8,0 \cdot 10^3 \{ [ 125(\rho_{\text{сн}} - 0,4) + 22 ] + 0,75(t - 15) \}, \quad (3.70)$$

где  $\rho_{\text{сн}}$  – плотность снега,  $\rho_{\text{сн}} = 0,4 \dots 0,6 \text{ т/м}^3$ ;

$t$  – температура снега, град,  $t = (-3 \dots + 40) \text{ }^\circ\text{C}$ .

При работе машины возможны два вида движения:

1) установившееся – при постоянной толщине снежного покрова, когда реактивные силы, действующие на скальватель со стороны снега, полностью уравновешиваются силой тяги и силой тяжести машины;

2) неустановившееся – 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 скальваемого 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)

$$W_{\Sigma}^{\text{вп}} = k_{\text{ск}} b_{\text{н}} h_{\text{сн}} (1 + f_{\text{сн}} \text{ctg}\beta) + (f_{\text{пер}} + i) G_{\text{ск}}, \quad (3.71)$$

где  $f_{\text{пер}}$  – коэффициент сопротивления передвижению базового трактора;

$i$  – уклон пути;

$G_{\text{ск}}$  – сила тяжести скальвателя, Н.

Таким образом, *мощность* (кВт), *необходимая для работы скальвателя со слоем снега высокой прочности,*

$$N_{\text{вп}} = W_{\Sigma}^{\text{вп}} v_{\text{р}} / 1000 \eta_{\text{пр}}, \quad (3.72)$$

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)

$$W_{\Sigma}^{\text{нп}} = k_{\text{ск}} b_{\text{н}} h_{\text{сн}} (1 + f_{\text{сн}} \text{ctg}\gamma) + (f_{\text{пер}} + i) G_{\text{ск}}. \quad (3.73)$$

Соответственно, *мощность* (кВт), *необходимая для работы скальвателя со слоем снега малой прочности и большой толщины,*

$$N_{\text{нп}} = W_{\Sigma}^{\text{нп}} v_p / 1000 \eta_{\text{пр}}. \quad (3.74)$$

Для режима неустановившегося движения в тяговых расчетах при оценке сил сопротивления снега скальванию следует вносить поправочные коэффициенты, связанные с изменением толщины и прочности снежного покрова.

Устойчивость скальвателя при работе, т.е. возможность его прямолинейного движения в рабочем режиме, обеспечивается рядом условий.

Во-первых, должно выполняться уравнение

$$W_{\Sigma}^{\text{вп}} \leq \varphi_{\text{сц}} P_{\text{сц}}^{\text{вп}} \quad (3.75)$$

или

$$W_{\Sigma}^{\text{нп}} \leq \varphi_{\text{сц}} P_{\text{сц}}^{\text{нп}}, \quad (3.76)$$

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.

В свою очередь, *тяговые характеристики* (Н) *по сцеплению* определяют из формул:

*для снега высокой прочности*

$$P_{\text{сц}}^{\text{вп}} = \frac{b_{\text{н}} + a_{\text{тр}} \psi f_{\text{пер}}}{c_{\text{тр}} + a_{\text{тр}} \varphi_{\text{сц}} \psi} G_{\text{ск}}, \quad (3.77)$$

*для снега низкой прочности*

$$P_{\text{сц}}^{\text{нп}} = \frac{b_{\text{н}} - a_{\text{тр}} \psi f_{\text{пер}}}{c_{\text{тр}} - a_{\text{тр}} \varphi_{\text{сц}} \psi} G_{\text{ск}}, \quad (3.78)$$

где  $a_{\text{тр}}$  – расстояние от оси трактора до точки приложения силы, м;

$c_{\text{тр}}$  – база трактора, м;

$\psi$  – коэффициент, характеризующий соотношение горизонтальной  $R_{\Gamma}$  и вертикальной  $R_{\text{в}}$  составляющих силы сопротивления снега скальванию,  $\psi = R_{\text{в}} / R_{\Gamma}$ .

*Для снега высокой прочности*

$$\begin{aligned} R_B &= R \sin \beta, \\ R_T &= R \cos \beta. \end{aligned} \quad (3.79)$$

*Для снега низкой прочности*

$$\begin{aligned} R_B &= R \sin \gamma, \\ R_T &= R \cos \gamma, \end{aligned} \quad (3.80)$$

где  $R$  – сила сопротивления снега скалыванию, Н.

*Во-вторых*, для обеспечения эффективного управления скальвателем должно выполняться условие

$$R_{\text{пер}} > 0,25G_{\text{ск}}, \quad (3.81)$$

где  $R_{\text{пер}}$  – вертикальная реакция снежного покрова на передние управляемые колеса, Н.

*Для снега высокой прочности*

$$\left\{ (1 + \psi f_{\text{пер}}) - \frac{b_n + a_{\text{тр}} \psi f_{\text{пер}}}{c_{\text{тр}} + a_{\text{тр}} \phi_{\text{сц}} \psi} (1 + \phi_{\text{сц}} \psi) \right\} G_{\text{ск}} > 0,25G_{\text{ск}}. \quad (3.82)$$

*Для снега низкой прочности*

$$\left\{ (1 - \psi f_{\text{пер}}) - \frac{b_n - a_{\text{тр}} \psi f_{\text{пер}}}{c_{\text{тр}} - a_{\text{тр}} \phi_{\text{сц}} \psi} (1 - \phi_{\text{сц}} \psi) \right\} G_{\text{ск}} > 0,25G_{\text{ск}}. \quad (3.83)$$

*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 3.36):

$$M_{\text{сц}} > a_{\text{тр}} W_{\text{ск}}, \quad (3.84)$$

где  $M_{\text{сц}} = c_{\text{тр}} S_1$  – при проверке устойчивости колес передней (первой) оси;

$M_{\text{сц}} = c_{\text{тр}} S_2$  – при проверке устойчивости колес задней (второй) оси, Н·м ;

$S_1$  и  $S_2$  – боковые силы сцепления колес первой и второй оси.

Эти силы находят из формул

$$\begin{aligned} S_1 &= \varphi_{\text{ск}} R_{\text{пер}}, \\ S_2 &= \varphi_{\text{ск}} P_{\text{сц}}, \end{aligned} \quad (3.85)$$

где  $\varphi_{\text{ск}}$  – коэффициент трения скольжения колес по снегу.

Значения  $R_{\text{пер}}$  и  $P_{\text{сц}}$  определяют по формулам (3.77) и (3.78), (3.67) и (3.69) с учетом высокой или низкой прочности снега при скалывании.

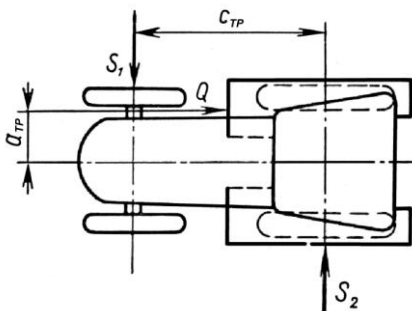


Рисунок 3.36 – Схема для оценки боковой устойчивости скалывателя

Эксплуатационную производительность скалывателя ( $\text{м}^2/\text{ч}$ ), как машины непрерывного действия, определяют из выражения

$$\Pi_{\text{ск}} = 3600 k_{\text{в}} (b_{\text{ск}} - \Delta b) v_{\text{р}} / n_{\text{пр}}, \quad (3.86)$$

где  $b_{\text{ск}}$  – ширина полосы скалывания, м;

$\Delta b$  – ширина перекрытия смежных проходов,  $\Delta b = 0,1 \dots 0,3$  м;

$n_{\text{пр}}$  – число проходов, необходимое для полной очистки дорожного полотна.

### 3.7 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 солепесчаных смесей, а также разбрызгивание солевых растворов.

Каждый из этих 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 оС. Минеральные реагенты используют при температуре ниже минус 10 °С. В Швеции и Норвегии 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.

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 забран двускатной решеткой, играющей роль сита, и закрыт съемным тентом. По днищу бункера проложен питатель (например, цепной скребковый конвейер), который выносит сыпучую смесь к заднему торцу бункера, где установлено 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 расположен на продольной оси машины, выброс материала происходит симметрично оси.

Распределители сыпучих материалов классифицируют по следующим признакам:

1) *по объему рабочего бункера* – малой, средней и большой вместимости;

2) *по варианту установки бункера-кузова* – на раме шасси, в кузове самосвала и подъемником типа «мультилифт»;



3) по типу питателя – со скребковым цепным, ленточным резиновым, пластинчатым и шнековым конвейером, с наклонными лотками;

4) по конструкции распределителя – с центробежным диском и с распределительным валом;

5) по типу привода рабочих органов – с гидравлическим и механическим (от ВОМ базового шасси через карданную и цепную передачи);

6) по способу передвижения – самоходные (на шасси грузового автомобиля или спецшасси) и полуприцепные (к автомобилю или трактору);

7) по виду работ – специализированное (для зимнего содержания дорог) и универсальное (для круглогодичного содержания дорог и улиц) распределительное оборудование.

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 снабжены комплектом оборудования для круглогодичного содержания дорог и улиц.

Схема типичного рабочего органа для распределения сыпучих противогололедных материалов показана на рисунке 3.37.

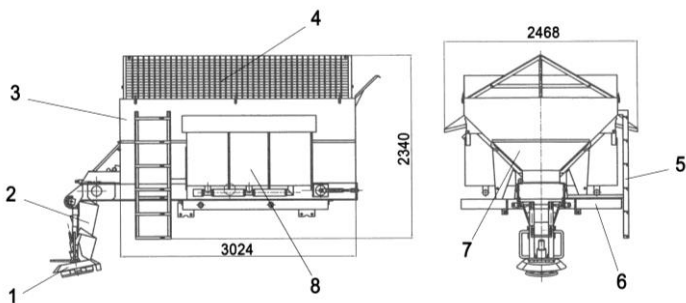


Рисунок 3.37 – Схема пескоразбрасывающего оборудования:

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 установлен 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 накопительный бункер, из которого сыпучий материал поступает на разбрасывающий диск. 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, при помощи 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.

На рисунке 3.38 представлена конструктивная схема специализированной машины на шасси грузового автомобиля, которая содержит распределительное устройство 5–7 и складные монтажные стойки 3 и 9.

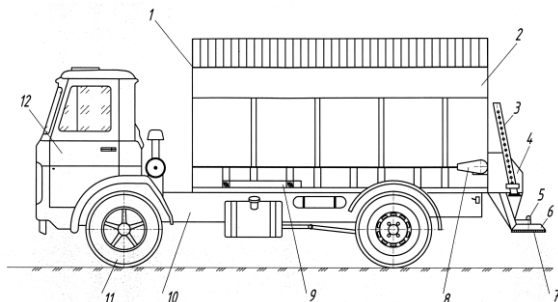


Рисунок 3.38 – Машина комбинированная с пещоразбрасывающим оборудованием:

1 – сортировочная сетка; 2 – кузов распределителя; 3 – задняя монтажная опора; 4 – кожух транспортера; 5 – гидромотор распределительного диска; 6 – кожух распределительного диска; 7 – распределительный диск; 8 – кожух гидромотора транспортера; 9 – передняя монтажная опора; 10 – рама; 11 – шасси; 12 – кабина

На рисунке 3.39 показано распределительное устройство, которое состоит из рамной конструкции, лотка 4, диска 2 с радиальными ребрами на его поверхности, направляющего кожуха 1 и гидромотора 3.

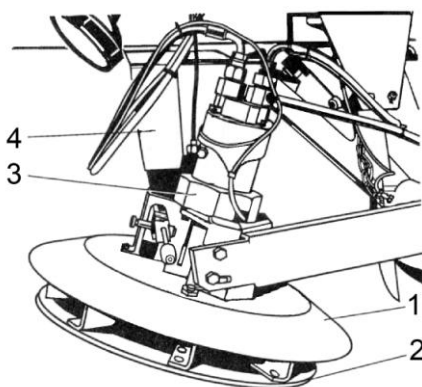


Рисунок 3.39 – Распределитель сыпучих материалов:  
 1 – направляющий и защитный кожух; 2 – диск с лопастями; 3 – гидромотор привода диска; 4 – лоток питателя; 5 – фонарь освещения зоны распределения материала

Сыпучий материал поступает в распределитель по лотку 4 из питателя. Диск 2, установленный на валу гидромотора 3, получает от него вращение и равномерно разбрасывает сыпучий материал по обрабатываемой поверхности. Кожух 1 несет защитные функции и одновременно служит дополнительным дозатором расхода материала. Расход материала регулируют также скоростью питателя, частотой вращения диска, а также размером и ориентацией расходных щелей кожуха, закрывающего диск.

Гидросистема машины (рисунок 3.40), оснащенной разбрасывателем сыпучих реагентов, 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 «Arctic Machine», итальянская «Giletta», швейцарская «Boschung», датская «Epoke» и др.) выпускают в основном комбинированные машины для комплексной очистки дорог и улиц в любое время года. В РФ оборудование и машины для борьбы с гололедом выпускают более 20 предприятий. 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 м<sup>3</sup>, а ширина распределения изменяется в диапазоне от 1 до 24 м. Их рабочим

оборудованием, в том числе распределительным органом, управляет из кабины водитель при помощи бортового компьютера. Автоматизированные системы управления 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/м<sup>2</sup> с шаговой регулировкой по 1 г/м<sup>2</sup> при ширине распределения реагента от 4,0 до 17,5 м. Для повышения эффективности очистки все чаще используют систему распределения сыпучих реагентов с их увлажнением, что ускоряет воздействие твердых материалов на обрабатываемую поверхность.

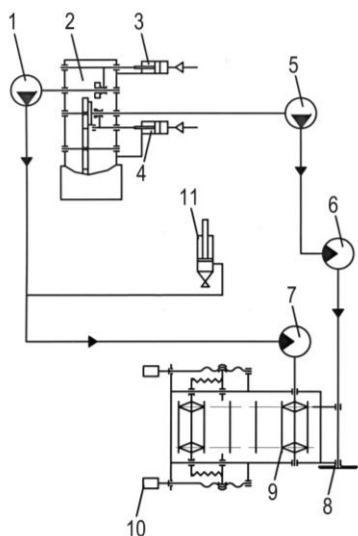


Рисунок 3.40 – Кинематическая схема машины с пескоразбрасывающим оборудованием:

1, 5 – гидронасосы; 2 – коробка отбора мощности; 3, 4 – пневмоцилиндры механизма включения; 6 – гидромотор распределителя; 7 – гидромотор привода транспортера; гидроцилиндр подъема платформы; 8 – расбрасывающий диск; 9 – транспортер; 10 – натяжное устройство транспортера; 11 – гидроцилиндр

Для работы на нешироких улицах применяют более маневренные и менее грузоподъемные машины, включая полуприцепное оборудование к пневмоколесным тракторам. Полуприцепы оснащены, как правило, только распределяющим оборудованием.

В таблице 3.10 представлены некоторые технические характеристики отечественных пескоразбрасывателей. Как видно из таблицы, 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 – 2 ч) не зависят от мощности силовой установки базового шасси и одинаковы для всех указанных распределителей.

Таблица 3.10 – Технические характеристики пескоразбрасывателей

Показатель	ПМ-6	ПМ-6-01	ПМ-6-02К	ПМ-6-03К	ПМ-6-01У	ПМ-9
Базовое шасси	МАЗ-5551	МАЗ-5337	КамАЗ-55215	КамАЗ-53228	УРАЛ-377Н	МАЗ-5516
Мощность, кВт	132	132	176	176	132	243
Ширина обработки, м	< 12					
Плотность посыпки*, кг/м <sup>2</sup>	0,4/0,01					
Скорость, км/ч:						
рабочая	30–40					
транспортная	60					
* – В числителе – инертный материал, в знаменателе – реагент.						

На рисунке 3.41 показан полуприцепной разбрасыватель сыпучих материалов, который используют в сборе с пневмоколесным трактором МТЗ-80/82.



Рисунок 3.41 – Полуприцепное оборудование для распределения сыпучих противогололедных материалов

Кроме того, на ряде распределителей с базовым шасси самосвала вместо его заднего борта устанавливают дополнительный навесной бункер с цилиндрическим ячеистым дозатором, что обеспечивает ширину распределения до 2,5 м. Например, российское предприятие «КОРМЗ» использует для этих целей машины моделей ДМК-10,-20,-40 на шасси самосвалов МАЗ, КамАЗ и др.

Конструкция рабочего органа позволяет вести симметричное и асимметричное распределение материала относительно продольной оси машины, что способствует повышению эффективности работы машин в условиях ограниченного пространства.

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 3.42 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.

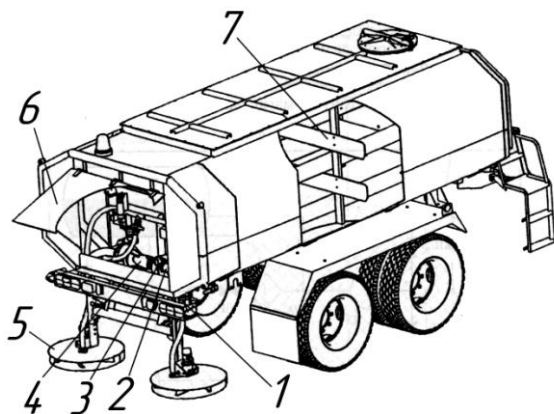


Рисунок 3.42 –  
Оборудование для  
распределения жидких  
реагентов:

- 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

*Расчет распределителей сыпучих материалов* включает определение основных характеристик рабочих органов и механизмов, технических и эксплуатационных параметров машины, тяговый расчет, баланс мощности и другие расчеты.

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* (кВт) на привод рабочего оборудования

$$N_{po} = N_{пк} + N_{пд}, \quad (3.87)$$

где  $N_{пк}$  – мощность, необходимая для привода скребкового конвейера-питателя;

$N_{пд}$  – мощность, затрачиваемая на привод разбрасывающего диска.

*Мощность привода конвейера*  $N_{пк}$  (кВт) определяют по формуле

$$N_{пк} = W_k v_k / 1000 \eta_{пк}, \quad (3.88)$$

где  $W_k$  – сила сопротивления движению цепи конвейера, Н;

$v_k$  – рабочая скорость конвейера, м/с;

$\eta_{пк}$  – КПД привода конвейера.

При оценке сопротивления  $W_k$  (Н) движению цепи конвейера 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:

$$W_k = k_{пц} (f_m q_m + f_k q_k + f_{мм} q_{нм}) L_k, \quad (3.89)$$

где  $k_{пц}$  – коэффициент, учитывающий сопротивление в подшипниках

звездочек и от перегиба цепи,  $k_{пц} = 1,25$ ;

$f_m$  – коэффициент трения материала по стали,  $f_m = 0,50$ ;

$f_k$  – коэффициент сопротивления перемещению конвейера,  $f_k = 0,11 \dots 0,13$ ;

$f_{\text{мм}}$  – 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;

$q_{\text{нм}}$  – 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  $N_{\text{ск}}$ , необходимую для сообщения материалу скорости отбрасывания, и мощность  $N_{\text{тр}}$ , затрачиваемую на преодоление трения при движении частиц по диску:

$$N_{\text{пд}} = N_{\text{ск}} + N_{\text{тр}} . \quad (3.90)$$

Мощность  $N_{\text{ск}}$  (кВт)

$$N_{\text{ск}} = \frac{m_{\text{с}} \omega_{\text{д}}^2 R_{\text{д}}^2}{2000 \eta_{\text{пд}}} \left[ 1 + (\kappa - f_{\text{м}})^2 \right], \quad (3.91)$$

где  $m_{\text{с}}$  – масса материала, поступающего на диск в единицу времени, кг/с;

$\omega_{\text{д}}$  – угловая скорость диска;

$R_{\text{д}}$  – радиус диска, м;

$\kappa$  – 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<sup>2</sup>), ширины распределения материала  $B_{\text{рм}}$  (м) и рабочей скорости  $v_{\text{р}}$  (м/с) передвижения машины:

$$m_{\text{с}} = g_{\text{м}} B_{\text{рм}} v_{\text{р}} . \quad (3.92)$$

Мощность  $N_{\text{тр}}$  (кВт)



$$N_{\text{тр}} = \frac{m_c \omega_d^2 f_M}{2000 \eta_{\text{пд}}} (\kappa - f_M) (R_d^2 - r_1^2), \quad (3.93)$$

где  $r_1$  – усредненный радиус расположения частиц на диске, м,

$$r_1 = \frac{1}{2} (r' + r''),$$

$r'$  – предельное удаление частиц материала от оси диска,  $r' = 8/\omega_d$ ;

$r''$  – минимальное удаление частиц песка от оси диска,  $r'' = (1,1 \dots 1,2)r$ .

*Мощность* (кВт), *необходимую для передвижения машины*, рассчитывают по формуле

$$N_{\text{пер}} = \frac{(f_{\text{пер}} + i) G_M v_p}{1000 \eta_{\text{п}}}, \quad (3.94)$$

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*,

$$N_{\Sigma} = N_{\text{пк}} + N_{\text{тр}} + N_{\text{пер}}. \quad (3.95)$$

*Эксплуатационная производительность* машины ( $\text{м}^2/\text{ч}$ ) для распределения противогололедных материалов

$$P_p = \frac{3600 \kappa_v \kappa_z \rho_m V_b}{g_M T_{\text{ц}}}, \quad (3.96)$$

где  $\kappa_z$  – коэффициент заполнения бункером материала;

$\rho_m$  – плотность материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$V_b$  – вместимость бункера,  $\text{м}^3$ ;

$T_{\text{ц}}$  – продолжительность рабочего цикла, с.

*Рабочий цикл* включает следующие стадии: распределение материала ( $T_p$ ), прогон от места работы к складу материала и обратно ( $T_{\text{тр}}$ ), погрузку материала в бункер ( $T_{\text{пог}}$ ), а также вспомогательные операции ( $T_{\text{всп}}$ ):

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{р}} + T_{\text{тр}} + T_{\text{пог}} + T_{\text{всп}} . \quad (3.97)$$

*Продолжительность распределения материала (с)*

$$T_{\text{с}} = \frac{\kappa_3 \rho_{\text{м}} V_{\text{б}}}{g_{\text{м}} B_{\text{рм}} v_{\text{р}}} . \quad (3.98)$$

*Продолжительность транспортирования материала*

$$T_{\text{пог}} = \frac{2L_{\text{рс}}}{v_{\text{тр}}} , \quad (3.99)$$

где  $L_{\text{рс}}$  – расстояние от места работы до склада материала, м;

$v_{\text{тр}}$  – транспортная скорость движения машины, м/с.

## 4 РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МАШИН

В Беларуси производство дорожных и строительных машин развивается по традиционным направлениям с учетом современных тенденций, характерных для мирового машиностроения. В их числе ресурсосбережение и обеспечение безопасности эксплуатации машин, включая экологическую безопасность, повышение надежности конструкции машин и интенсификация рабочих процессов.

Несмотря на явные успехи отечественных машиностроителей на поприще ресурсосбережения, эта проблема сохраняет свою актуальность и по сей день. По данным экспертов Минэкономики Беларуси показатели энергоемкости белорусской продукции выше в 1,5–2,0 раза, чем западноевропейской. При этом производительность труда в целом по республике ниже, чем в странах Евросоюза в 4–5 раз, т.е. удельные показатели энергоемкости отстают еще более значительно.

Ресурсосбережение связано с экологической безопасностью, современные требования к которой отражены в серии международных стандартов ISO 14000 «Система экологического управления», которые регламентируют организацию системы экологического управления и аудита, а также оценку экологической безопасности производства и продукции на всех этапах жизненного цикла.

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.

Жизненный цикл машины включает следующие этапы:

- маркетинг;
- 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 работоспособности;

– списание машины и ее утилизацию.

Экологические подходы к проблеме безопасной эксплуатации машин являются преобладающими в концепции полного жизненного цикла (ПЖЦ) машин. Напомним, что в ее основе лежит экологическая безопасность как наиболее важное звено взаимосвязи всех этапов ПЖЦ машин. При этом эффективность утилизации машины по окончании срока ее эксплуатации является основой мероприятий по обеспечению экологической безопасности на всех этапах жизненного цикла. Эти мероприятия (организационные, материаловедческие, конструкторские, технологические и эксплуатационные) закладываются на этапе проектирования и конструирования. При этом обеспечение высокой работоспособности машин сочетается со снижением трудо-, энерго- и материальных затрат при создании и функционировании машин.

Спектр современных машиностроительных материалов, технологических процессов изготовления из них деталей и конструкций, конструктивных решений и организационных аспектов весьма обширен. Поэтому остановимся на актуальных, на наш взгляд, разработках.

#### **4.1 Материалы с комплексами особых свойств**

Выбор материалов при конструировании деталей зависит от многих факторов, в числе которых назначение и конструкция узла, технологичность и условия нагружения, а также баланс между затратами на материал и изготовление детали из него и режимами эксплуатации (значимостью) детали из этого материала.

Для изготовления основных видов деталей и конструктивных элементов машин используют сплавы черных и цветных металлов, достоинства которых общеизвестны. Вместе с тем, с их помощью невозможно решить все проблемы, которые ставит перед материаловедением современное машиностроение, особенно в плане ресурсосбережения. Поэтому, наряду с традиционными материалами, все больше применяют материалы, обеспечивающие сочетание неординарных технологических и эксплуатационных свойств. Для повышения эффективности переработки материалов в изделия и получения деталей и конструкций с заданным уровнем и набором свойств целесообразно использовать следующие группы материалов:

- 1) конструкционные, триботехнические и коррозионностойкие материалы со стабильными эксплуатационными характеристиками;
- 2) материалы, которые не требуют дополнительной обработки (доводки)

поверхности деталей;

3) материалы с высокими показателями удельной прочности и жесткости, в том числе композиты и сплавы на основе наноструктурных компонентов;

4) адаптивные структуры, способные приспосабливаться к условиям эксплуатации машин;

5) рециклируемые и рециклированные сплавы и композиты.

Одним из направлений развития машиностроения является снижение материалоемкости машин за счет использования легких материалов, а также материалов с высокими показателями удельной прочности (т.е. прочности, отнесенной к плотности материала). Применение легких материалов позволяет снизить массу, увеличить грузоподъемность, повысить производительность и другие эксплуатационные характеристики.

Основными легкими конструкционными материалами являются пластические массы, композиционные материалы на основе полимеров, легкие металлы (Be, Al, Ti) и сплавы на их основе.

Особенно важным является сочетание малой плотности ( $\rho$ ) материалов и высоких показателей их прочности ( $\sigma_b$ ) и жесткости ( $E$ ). В этом случае основными критериями при выборе конструкционных материалов являются удельные показатели прочности ( $\sigma_b/\rho$ ) и жесткости ( $E/\rho$ ).

Как видно из таблицы 4.1, удельные характеристики легких металлических сплавов существенно различаются. Сплавы на основе Al и Mg (а также пластмассы) предназначены в основном для несилловых, а также малонагруженных конструкций машин.

Материалы с высокой удельной прочностью (сплавы на основе Ti, Be и др.) предназначены в основном для средне- и тяжелонагруженных конструкций.

Таблица 4.1 – Удельные показатели прочности и жесткости материалов

Материал*	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_b/(\rho g)$ , км	$E/(\rho g) \cdot 10^{-3}$ , км
МА10 (магний)	430	21	2,3
В96 (алюминий)	700	23	2,4
ВТ15 (титан)	1500	30	2,6
Бериллий	680	37	16,1
Ст3 (железо)	430	5	
Сталь 30 (железо)	500	6	
30ХГСА (железо)	1100	14	
03Н12К15М10 (железо)	2500	32	
ЖБ470** (железо)	400	5	

\* В скобках указан основной компонент сплава.  
\*\* Сталь, спеченная методом порошковой металлургии ( $\rho = 7,2 \text{ кг/м}^3$ , пористость 7,5–9,5 %).

Стали (см. таблицу 4.1) имеют удельную прочность в довольно значительном диапазоне показателей благодаря широким возможностям регулирования их состава и структуры, поэтому они продолжают оставаться самыми распространенными материалами деталей и конструкций машин.

**Многофункциональные композиционные материалы.** Во многом снижение материалоемкости и энергоемкости техники связано с разработкой и эффективным использованием композиционных материалов (композитов). Отметим, что это направление современного материаловедения – композиционные материалы (КМ) и изделия из них – отнесено к одному из приоритетных направлений развития науки и техники Беларуси.

*Композиционными материалами* считают материалы, состоящие из двух и более разнородных компонентов с границей раздела между ними. Компонент, непрерывный по всему объему композиционного материала и обеспечивающий его монолитность, – это *матрица* (от лат. *matrix* – основа). Матрица связывает структурные элементы наполнителя, определяет форму изделия, его монолитность и теплостойкость, электро- и триботехнические свойства, герметичность и химическую стойкость. Компонент, распределенный в матрице, – это *наполнитель*. Наполнители чаще играют роль армирующих элементов, которые воспринимают основную нагрузку и определяют прочность, жесткость и твердость КМ, а также влияют на их триботехнические, магнитные, теплофизические и электрические свойства.

Композиты классифицируют по следующим основным признакам:

1) *по назначению* – конструкционные, триботехнические, электротехнические, декоративно-защитные и специального назначения;

2) *по типу материала матрицы*:

– металлические;

– полимерные;

– неорганические (неорганические полимеры, минералы, керамика, углерод);

– полиматричные (гибридные, сочетающие перечисленные матрицы);

3) *по типу элементов армирующего наполнителя*:

– дисперсноупрочненные;

– волокнуупрочненные.

На рисунке 4.1 представлены принципиальные схемы армирования композитов дисперсными и волокнистыми наполнителями. Некоторые композиты по удельным показателям прочности и жесткости значительно превосходят традиционные конструкционные материалы. Необходимые свойства закладываются на этапе проектирования с учетом характеристик основных и вспомогательных компонентов, а также прочности адгезионных связей между ними. Многообразие матриц и наполнителей, а также схем армирования дает возможность создавать изделия с комплексом заранее заданных свойств, которые наиболее полно отвечают условиям эксплуатации деталей и конструкций. При этом возможна реализация таких сочетаний

свойств, которые недостижимы для других конструкционных и триботехнических материалов.

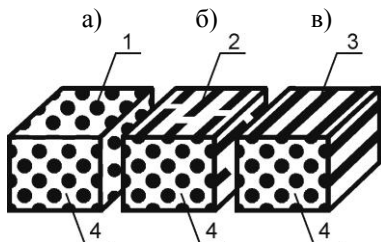


Рисунок 4.1 – Схема структуры дисперсно- (а) и волокнупрочненных (б, в) КМ:

- 1 – дисперсные частицы наполнителя;  
2 – дискретные волокна; 3 – непрерывные волокна; 4 – матрица

Еще одним достоинством композитов является возможность на стадии изготовления придать полуфабрикату форму, максимально близкую к форме детали, конструкции или даже узла.

Области применения композитов обусловлены свойствами исходных компонентов. В настоящее время их применяют в основном как конструкционные материалы. В том числе в авиации для высоконагруженных деталей самолетов (обшивки фюзеляжа, лонжеронов, нервюр, панелей,

лопастей вертолетов и др.) и двигателей (лопаток компрессора, турбины и т. п.); в космической технике – для узлов силовых конструкций, элементов жесткости, панелей, теплоизоляционных защитных элементов; в автомобилестроении – для облегчения кузовов, рессор, рам, панелей кузовов, бамперов и др.; в гражданском строительстве (пролеты мостов, элементы сборных конструкций высотных сооружений и т. п.) и других областях народного хозяйства.

**Композиты на основе металлических матриц** имеют увеличенную (по сравнению с традиционными сплавами) удельную прочность и жесткость только за счет повышения физико-механических характеристик, поскольку плотности композитов и сплавов примерно одинаковы.

В *дисперсно-упрочненных* композитах металлическая матрица является элементом, несущим нагрузку, а дисперсные частицы наполнителя только тормозят движение в ней дислокаций и развитие пластической деформации (чем больше это сопротивление, тем выше прочность композитов). Высокая прочность достигается при размере частиц наполнителя в интервале 10–500 нм и их равномерном распределении в матрице. Наполнителями служат, как правило, дисперсные частицы тугоплавких фаз: оксидов, нитридов, боридов, карбидов ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ , BN, SiC и др.). Дисперсно-упрочненные материалы получают в основном методами порошковой металлургии на основе большинства применяемых в технике металлов и сплавов.

Наиболее широко используют сплавы на основе алюминия (типа САП) и никеля. Материалы САП представляют собой порошки Al, армированные частицами его оксида  $Al_2O_3$  (от 6 мас.% – в САП-1, до 22 мас.% – в САП-4).

С ростом наполнителя повышаются прочность, твердость и жаростойкость, но уменьшается пластичность. Из САП производят все виды полуфабрикатов: листы, профили, трубы, заготовки для штамповки, фольгу. Из них изготавливают детали, от которых требуется высокая удельная прочность и коррозионная стойкость (штоки поршней, лопасти компрессоров, лопасти вентиляторов и др.).

Спеченные алюминиевые сплавы (САС), содержащие до 30 мас.% Si и до 7 мас.% Ni, заменяют более тяжелые стали при изготовлении отдельных деталей и конструкций.

Большие перспективы имеются у никелевых дисперсно-упрочненных композитов. Наиболее высокой прочностью при высоких температурах обладают материалы на основе никеля с 2–3 мас.% двуоксида тория или двуоксида гафния. Матрицей таких сплавов являются обычно твердые растворы (Ni+20 мас.% Cr, Ni+15 мас.% Mo, Ni+20 мас.% Cr и Mo). Широкое применение получили материалы ВДУ-1 (никель, упрочненный двуокисью тория), ВДУ-2 (никель, упрочненный двуокисью гафния) и ВД-3 (матрица Ni+20 мас.% Cr, упрочненная окисью тория), которые обладают высокой жаропрочностью.

*В волокнуупрочненных композитах* наполнителями являются волокна или нитевидные кристаллы чистых элементов и тугоплавких соединений (C, B, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC и др.), а также тонкая проволока из металлов и сплавов (высокопрочная сталь, Mo, W и др.). Для армирования используют дискретные ( $l/d \approx 10-10^3$ ) и непрерывные ( $l/d \approx \infty$ ) волокна ( $l$  – длина,  $d$  – диаметр волокон).

Волокна в композитах уменьшают скорость распространения трещин, зарождающихся в матрице, и практически полностью исключают хрупкое разрушение. Особенностью материалов с одноосно ориентированными волокнистыми наполнителями являются анизотропия механических свойств вдоль и поперек волокон, а также малая чувствительность к концентраторам напряжения. Чем больше объемное содержание волокон, тем выше прочность и жесткость материала вдоль оси армирования. Однако необходимо учитывать, что матрица может передавать напряжения волокнам только в том случае, когда существует прочная адгезионная связь на поверхности раздела *армирующее волокно – матрица*. Поэтому матрица должна полностью окружать все волокна, что достигается при ее содержании не менее 15–20 мас.%.

*Дискретные волокна* располагаются в матрице хаотично. При увеличении отношения длины к диаметру волокна возрастает степень упрочнения.

*Непрерывные волокна* используют для создания композитов со слоистой структурой, в которой каждый слой армирован большим числом параллельных непрерывных волокон. В ряде случаев слоистую структуру



получают, используя непрерывные волокна в виде ткани, которая по ширине и длине соответствует конечному материалу. Нередко волокна сплетают в трехмерные структуры.

Прочность волокнупрочненных композитов определяется свойствами волокон, поскольку матрица в основном только перераспределяет напряжения между армирующими элементами. Поэтому прочность и модуль упругости волокон должны быть значительно больше, чем прочность и модуль упругости матрицы. Армирующие волокна воспринимают напряжения, возникающие в композите при нагружении, придавая ему прочность и жесткость в направлении ориентации волокон. В таблице 4.2 приведены свойства некоторых волокнупрочненных КМ, которые значительно превосходят по характеристикам ненаполненные металлы и сплавы (см. таблицу 4.1).

**Таблица 4.2 – Физико-механические свойства композитов на металлической матрице**

Материал	$\sigma_b$ , МПа	$E$ , ГПа	$\sigma_b/(\rho g)$ , км	$E/(\rho g) \cdot 10^{-3}$ , км
Бор–алюминий (ВКА–1А)	1300	220	50	9
Бор–магний (ВКМ–1)	1300	220	59	10
Алюминий–углерод (ВКУ–1)	900	220	45	10
Алюминий–сталь (КАС–1А)	1700	110	37	3

Для формирования качественного соединения между матрицей и волокнами необходимо обеспечить чистоту поверхностей (без загрязнений, газовых и других включений). Высокая прочность связей между матрицей и волокнами достигается благодаря их взаимодействию с образованием тонкого (1–2 мкм) слоя интерметаллидных фаз.

*Изделия из композитов на основе дисперсных частиц и дискретных волокон* изготавливают обычно способами, которые используют в традиционной металлургии.

*Изделия из композитов на основе непрерывных волокон* получают как традиционными литейными, так и методами порошковой металлургии.

**Композиты на полимерной матрице** отличаются от материалов на металлической матрице благодаря свойствам полимеров, которые обусловлены особенностями их строения.

Свойства полимеров (высокую химическую стойкость, электроизоляционные свойства и др.) определяют прочные межатомные химические связи ковалентного и ионного типа, а большая длина макромолекул – их низкую плотность (в 2–5 раза меньшую, чем металлов) и высокую демпфирующую способность.

В отличие от полимеров свойства металлов определяет их кристаллическая решетка, состоящая из атомов, окруженных

обобщенными электронами (электронным газом). Наличие слабо связанных с решеткой электронов обеспечивает высокие показатели тепло- и электропроводности металлов, а также высокую химическую активность большинства металлов. Кроме того, наличие компактной кристаллической решетки определяет большую плотность металлов.

Многообразие полимеров и наполнителей способствует реализации широких возможностей управления эксплуатационными свойствами деталей и конструкций из полимерных композитов. Об этом свидетельствуют значения диапазонов изменения характеристик полимерных композитов (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Диапазоны изменения основных характеристик композитов на полимерной матрице

Характеристика	Размерность	Диапазон
Плотность	г/см <sup>3</sup>	900–2200
Прочность при растяжении	МПа	1–10000
Модуль упругости при растяжении	ГПа	0,01–1000
Коэффициент Пуассона		0,15–0,50
Удельная ударная вязкость	кДж/м <sup>2</sup>	2,5–500
Температура эксплуатации	град С	–270...+400
Коэффициент теплопроводности	Вт·м <sup>-1</sup> ·К <sup>-1</sup>	0,002–300
Коэффициент линейного термического расширения	К <sup>-1</sup>	–0,8...+1000
Удельное объемное электросопротивление	Ом·м	10 <sup>-2</sup> –10 <sup>19</sup>
Твердость	МПа	10–500

В полимерных композитах *матрицами* (или связующими) являются в основном *синтетические полимеры*, т. е. искусственно созданные высокомолекулярные соединения, макромолекулы которых состоят из многочисленных элементарных звеньев одинаковой структуры. Молекулярная масса твердых полимеров составляет от  $4 \cdot 10^3$  до  $4 \cdot 10^6$  единиц. Большая молекулярная масса полимеров обуславливает размеры структурных образований: макромолекулы полимеров образуют *надмолекулярную структуру* (различимую даже в оптический микроскоп).

В зависимости от строения и гибкости макромолекул различают *термопластичные* и *терморективные (термоотверждаемые) полимеры*.

*Термопластичные полимеры (термопласты)* имеют *линейное и разветвленное строение макромолекул*. Макромолекулы *линейного строения* состоят из длинных неразветвленных молекулярных цепей. Атомы, входящие в главную цепь, связаны между собой прочными химическими (ковалентными) связями, а силы взаимодействия между макромолекулами на один-два порядка меньше. Поэтому полимеры с

линейным строением макромолекул имеют высокую деформационную способность.

В полимерах с макромолекулами *разветвленного строения* длина боковых ответвлений соизмерима с длиной основной цепи макромолекул, поэтому их деформационная способность ниже, чем у полимеров линейного строения, а прочностные характеристики выше.

Термопласты при нагревании выше температуры их плавления переходят из твердого в жидкое (расплав) агрегатное состояние, а при охлаждении ниже температуры плавления происходит обратный процесс – из жидкого в твердое состояние. Эту способность термопласты сохраняют при многократных нагреве и охлаждении.

*Терморезактивные полимеры (реактопласты)* имеют *сетчатое строение* макромолекул, которое характеризуется очень низкой деформационной способностью. Это обусловлено тем, что в сетчатая структура образована прочными межзатомными химическими связями не только в цепи макромолекулы, но и между макромолекулами. Эти связи формируются в терморезактивных полимерах при взаимодействии с введенными в их состав специальными веществами (сшивающими агентами), при воздействии УФ-облучения и др. Поэтому реактопласты становятся неплавкими, т. е. необратимо переходят в твердое (так называемое отвержденное) состояние.

В таблице 4.4 представлены свойства наиболее распространенных термопластичных полимеров, макромолекулы которых имеют линейное и разветвленное состояние.

**Таблица 4.4 – Физико-механические свойства термопластичных полимеров**

Материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность при растяжении и $\sigma_p$ , МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость по Бринеллю, МПа	Температура плавления, °С
Полиэтилен	0,95–0,96	20–30	300–800	45–60	125–135
Полипропилен	0,92–0,93	25–40	200–800	60–65	160–170
Поливинилхлорид	1,35–1,42	70–120	10–40	30–160	180–220
Политетрафторэтилен	2,15–2,25	15–35	250–500	30–40	327
Политрифторхлорэтилен	2,09–2,16	25–40	20–40	100–130	210–225
Полистирол	1,02–1,05	35–50	10–20	140–200	–
Полиамиды	1,12–1,16	50–80	50–100	100–150	225–270
Поликарбонаты	1,2	60–80	50–100	110–160	220–270

Для сравнения в таблице 4.5 представлены свойства распространенных реактопластов в отвержденном состоянии, т. е. имеющих сетчатую (сшитую) структуру макромолекул.

Уровень свойств композитов зависит от степени монолитности и пористости полимерной матрицы. Чтобы получить качественную деталь или конструкцию из полимерного композита, необходимо на стадии ее формирования обеспечить пропитку всех элементов армирующего наполнителя полимерным связующим. Для этого необходимо снизить вязкость связующего: *термопластичного* – нагревом выше температуры его плавления, *термореактивного* – растворением в органическом растворителе, и далее совместить компоненты под давлением.

Таблица 4.5 – Физико-механические свойства термореактивных полимеров

Полимерная матрица	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность при растяжении $\sigma_r$ , МПа	Относительно е удлинение при разрыве, %	Модуль упругости при растяжении, ГПа
Эпоксидная	1,1–1,4	30–140	1,2–4,0	2,0–5,0
Фенолоформальдегидная	1,20–1,36	23–80	0,4–3,0	1,4–7,0
Полиимидная	1,20–1,45	90–95	1,0–4,0	3,2–5,5
Полиэфирная	1,10–1,46	24–70	0,5–6,0	1,5–4,5

Как видно из таблиц 4.4 и 4.5, термопласты имеют высокую деформационную способность и низкие прочностные характеристики по сравнению с реактопластами.

В зависимости от вида внешнего воздействия на компоненты композита (при их совмещении) и конфигурации детали используют различные методы формирования изделий с применением давления – прямое и литьевое прессование, литье под давлением, экструзию и др.

Наибольшее распространение в качестве материалов для деталей и конструкций мобильной техники имеют композиты на основе термореактивных смол (эпоксидных, фенолоформальдегидных и полиимидных).

*В качестве наполнителей* композитов используют различные *дисперсные* и *волокнистые* материалы, выбор которых определяют назначение изделия (детали или конструкции), условия его эксплуатации, а также форма и габариты.

Столь широкий диапазон свойств композитов, представленный в таблице 4.3, связан с разнообразием характеристик полимерных матриц и свойств наполнителей.

*В качестве дисперсных наполнителей* применяют неорганические и органические вещества, которые придают полимерам специальные свойства: снижают (или увеличивают) коэффициент трения и повышают износостойкость, увеличивают теплопроводность, звукопоглощение и др.

Кроме того, некоторые дисперсные наполнители (отдельные металлы, их окислы и неорганические соединения) увеличивают в 1,2–1,5 раза физико-механические характеристики КМ на основе термопластов. Этот эффект обусловлен влиянием частиц этих наполнителей на процессы структурообразования в граничных слоях полимерной матрицы, которые повышают их прочностные характеристики. Если количество частиц наполнителя в композите достаточно велико, то большая часть полимерной матрицы переходит в состояние граничных слоев с повышенными показателями прочности и жесткости.

Дисперсноармированные композиты используют в основном для изготовления малонагруженных деталей и несилевых элементов конструкций машин.

В качестве волокнистых наполнителей применяют углеродные, борные, стеклянные и органические волокна в виде нитей, жгутов, лент, тканей и нетканых материалов. Существенно повышая физико-механические характеристики материалов, такие наполнители придают им различные функциональные и эксплуатационные свойства. Содержание наполнителей изменяется в очень широких пределах: от 1–5 мас.% – для низкоармированных материалов, до 96–99 мас.% – для предельно армированных композитов.

Наиболее известными композитами на основе полимеров являются *углепластики* (композиты, армированные углеродными волокнами, толщина моноволокна составляет 6–8 мкм), *стеклопластики* (композиты, армированные стеклянными волокнами, при толщине моноволокна 10–12 мкм), *органопластики* (композиты, армированные органическими волокнами, при толщине моноволокна 8–10 мкм).

Схемы армирования оказывают значительное влияние как на свойства материалов, так и на их анизотропию, о чем свидетельствуют данные таблицы 4.6. На рисунке 4.2 представлены наиболее распространенные схемы армирования непрерывными волокнистыми наполнителями слоистых пластиков.

В таблице 4.6 представлены показатели свойств полимерных волокноармированных композитов на основе эпоксидных связующих, которые свидетельствуют об их высокой конкурентоспособности по сравнению с металлическими сплавами.

Для инженерных расчетов композитов, состоящих из двух основных компонентов (полимерной матрицы и волокнистого наполнителя), используют модель их параллельного соединения, из которой следует, что

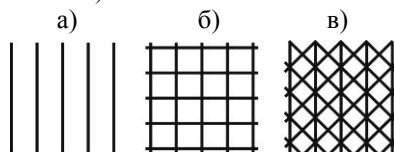


Рисунок 4.2 – Схемы армирования полимерной матрицы в слоистых КМ:  
 а – однонаправленное (1:0; 0°); б – перекрестное (1:1; 0°, 90°); в – перекрестное (1:1; 0°, ±45°)

разрушающее напряжение при одноосном растяжении  $\sigma_k$  и модуль упругости  $E_k$  композита можно оценить, используя соотношения

$$\begin{aligned}\sigma_k &= \sigma_n C_n + \sigma_p C_p, \\ E_k &= E_n C_n + E_p C_p,\end{aligned}\tag{1.1}$$

где  $\sigma_n$ ,  $\sigma_p$  – прочностная характеристика волокнистого наполнителя и полимерной матрицы;

$E_n$ ,  $E_p$  – модуль упругости при растяжении волокнистого наполнителя и полимерной матрицы;

$C_n$ ,  $C_p$  – содержание наполнителя и полимера в композите (отметим, что  $C_n + C_p = 1$ ).

Области применения полимерных композитов достаточно обширны. Они могут эффективно заменить традиционные конструкционные и триботехнические материалы в тех случаях, когда условия эксплуатации позволяют реализовать их достоинства. Помимо низкой плотности и высокой удельной прочности и жесткости, они обладают высокой демпфирующей способностью гасить механические и звуковые колебания (по этому показателю они на порядок превосходят металлы и сплавы), высокой износостойкостью в экстремальных условиях (в абразивно-агрессивных средах), низким коэффициентом трения в сочетании с эффектом самосмазывания (при нагрузках до 10 МПа и скоростях скольжения до 0,5 м/с), а также высокой химической стойкостью.

Таблица 4.6 – Свойства полимерных композитов

Материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность при растяжении, ГПа	Модуль упругости при растяжении, ГПа	Удельная прочность $\sigma_p/(\rho g)$ , км	Удельный модуль упругости, $E/(\rho g) \cdot 10^{-3}$ , км
Углепластики: – однонаправленные (1:0)* – перекрестные (2:1)	1,5 1,5	1,0–1,5 0,6–1,0	120–180 80–120	66–100 40–66	8,0–12,0 5,3–8,0
Стеклопластики: – однонаправленные (1:0) – перекрестные (2:1)	2,1 2,0	1,6–2,1 1,0–1,2	56–70 36–42	76–100 50–60	2,6–3,2 1,8–2,0
Органопластики: – однонаправленные (1:0) – перекрестные (2:1)	1,35 1,35	1,9–2,5 1,2–1,6	80–95 53–63	140–185 88–118	5,9–7,0 3,9–4,6
Боропластики: – однонаправленные (1:0) – перекрестные (2:1)	2,0 2,0	1,5 0,9	240 160	75 45	12 8

\* (1:0) и (2:1) – соотношение волокон вдоль и поперек.

Методы получения КМ обладают значительно меньшей энергоемкостью и трудоемкостью по сравнению с процессами производства традиционных конструкционных материалов. Так, удельные энергозатраты на единицу массы при получении композитов на основе полимеров в 15 раз меньше, чем при производстве изделий из алюминия, и в 21 раз – из титана. При этом коэффициент использования полимерных композитов составляет 0,90–0,95, а металлов и сплавов – всего 0,5–0,6.

В настоящее время композиты используют как материалы защитно-декоративного, декоративно-конструкционного, конструкционного и триботехнического назначения, поскольку по ценам они вполне конкурентоспособны с традиционными материалами. В частности, в транспортном машиностроении применение композитов в грузовых автотранспортных средствах превышает одну тонну на единицу техники.

В различных отраслях машиностроения из композитов производят корпусные изделия (кузова, кабины, двери, бамперы, панели, емкости для рабочих жидкостей и др.); элементы ходового оборудования (шасси, рессоры, фрикционные диски и тормозные накладки и др.); элементы привода, включая элементы трансмиссии и системы управления; материалы, защищающие поверхности рабочих органов, в частности, облицовочные материалы элементов транспортирующих и землеройных машин, в том числе роторных экскаваторов (облицовка ковшей и устройств разгрузки).

Комплекс уникальных свойств композитов на основе полимеров позволяет использовать их для защиты рабочих органов и накопительных емкостей строительных машин и оборудования от налипания влажных и глинистых грунтов. Это явление существенно снижает производительность машин для земляных работ (экскаваторов, скреперов, погрузчиков) и автотранспортных средств (самосвалов), а также ухудшает пропускную способность транспортирующих машин. В качестве примера можно привести эксплуатацию экскаватора-драглайна: при работе с влажными грунтами слой налипшего материала достигает 15–30 % вместимости его ковша. Для того чтобы очистить ковш (как правило, вручную), требуется длительное время.

Футеровочные (облицовочные) пластины из композитов на основе полиолефинов (полиэтилена, полипропилена различной молекулярной массы) обладают гидрофобностью, низким коэффициентом трения, достаточно высоким уровнем износо- и ударостойкости, а также сохраняют свои свойства в диапазоне рабочих температур от –40 до +100 °С. Благодаря этим свойствам пластинами толщиной 4–8 мм облицовывают рабочие поверхности накопительных бункеров, осадительных циклонов, а также кузовов автотранспортных средств при погрузке и выгрузке абразивных сыпучих материалов повышенной влажности. Для более жестких

эксплуатационных условий используют футеровочные пластины толщиной 10–80 мм, что обеспечивает значительное повышение эффективности одно- и многоковшовых экскаваторов, погрузочно-разгрузочных устройств транспортирующих машин (приемных и накопительных бункеров, воронок, течек и др.), платформ железнодорожных думпкаров, а также кузовов большегрузных самосвалов – при перегрузке и транспортировке влажных материалов с кусками размером не более 700 мм (без скальных включений).

Так, применение пластин толщиной 50 мм на лотках вибропитателя бункера гравийной линии увеличивает ее пропускную способность в 2 раза, а также снижает максимальную нагрузку на электродвигатель питателя в 2 раза (с 11,0 до 5,5 А). Футерование пластинами ковшей экскаватора-драглайна увеличивает производительность на 10 %, а срок службы ковша – в 2 раза.

Значительный эффект дает использование облицовочных пластин кузовов карьерных автосамосвалов БелАЗ. В условиях зимнего периода коэффициент использования их грузоподъемности составляет всего 0,74–0,88 при транспортировании горных пород с повышенным содержанием глинистых включений. Футерование кузова пластинами из КМ на основе полиэтилена высокой плотности приближает величину этого коэффициента к единице.

Существенное снижение материалоемкости достигается при использовании композитов для укрепления металлоконструкций, работающих на изгиб и сдвиг. Так, применение накладок из угле- и боропластиков для усиления элементов, работающих на изгиб (балок, лонжеронов, шпангоутов и др.), позволяет существенно снизить их массу при значительном увеличении жесткости. Кроме того, высокая демпфирующая способность КМ позволяет значительно уменьшить уровень вибрационных напряжений и избежать резонансных режимов металлических деталей, усиленных КМ.

Как было отмечено, высокая химическая стойкость является одной из важнейших характеристик большинства синтетических полимеров, а многокомпонентный состав композитов на их основе обеспечивает комплекс уникальных свойств деталей и конструкций из них. Но именно эти достоинства существенно затрудняют переработку и утилизацию большинства полимерных отходов, в том числе отходов машиностроения. Поэтому поиск эффективных технологических процессов их утилизации (в рамках концепции полного жизненного цикла машин) и последующего рециклинга является весьма важной задачей.

**Адаптивные материалы (АМ).** Термины «адаптивный» и «интеллектуальный» стали очень популярными в различных областях (в



материаловедении, в конструкциях, приводах и системах управления машин, в технологии дорожных работ и др.).

*Адаптивными* (адаптирующимися, интеллектуальными) называют материалы, которые обладают способностью самопроизвольно приспосабливаться к воздействиям внешней среды.

Различают три основных вида АМ:

1) *пассивные*, в которые вводят детекторы (в виде волокон, пленок и других элементов), изменяющие свои характеристики при внешних воздействиях;

2) *реактивные*, которые сами реагируют на внешние воздействия;

3) *интеллектуальные*, которые не только реагируют на внешние воздействия, но и сами обеспечивают устранение их последствий, т. е. самовосстанавливаются.

Материалы первой группы (*пассивные*) используют для диагностики конструкций из полимерных композитов, армированных волокнистыми наполнителями. Они работают на принципе самоконтроля состояния изделий с помощью встроенных в их структуру датчиков. Наибольшее развитие получили волоконно-оптические датчики, которые идеально подходят к структуре и технологии полимерных волокнистых композитов. Они представляют собой кремниевые волокна, заключенные в защитную оболочку, которые вводят в композит на стадии его формования. В готовом изделии через волокна пропускают световой сигнал и регистрируют изменения его оптических характеристик (амплитуды, фазы и др.) под влиянием деформаций и напряжений, возникающих в изделии. Таким образом они могут отслеживать вибрации и деформации, разрушения и износ материала изделия при эксплуатации.

Материалы второй группы (*реактивные*) самопроизвольно реагируют на внешние механические, термические, физические и другие воздействия, изменяя собственные структуру и характеристики (геометрические, механические, физические и др.).

Реактивные материалы АМ имеют различные типы реагирования на изменения окружающей среды. К самым простым системам относятся конструкции рабочих органов машин для земляных работ, которые изменяют свою структуру или форму при механических воздействиях (например, самозатачивающиеся зубья, ножи и режущие кромки рабочего оборудования).

К более сложным системам второй группы относятся материалы, которые обладают «эффектом памяти» формы. Этот эффект заключается в восстановлении первоначальной формы пластически деформированного материала, которое происходит после его нагрева до определенной температуры. Из нужного материала изготавливают изделие заданной формы, затем его подвергают пластическому деформированию (как

правило, для уменьшения габаритных размеров) и в таком виде устанавливают в необходимом месте. После этого его подвергают термообработке, в результате которой изделие приобретает первоначальные размеры и форму.

Как правило, сплавы, обладающие памятью формы, используют в таких областях, где другие материалы применить невозможно. Например, как материалы для саморасклепывающихся заклепок в труднодоступных местах машин, для самосрабатывающих соединительных муфт трубопроводных коммуникаций, а также в качестве материалов различных клапанов и рычагов, которые многократно изменяют свою форму в процессе эксплуатации при нагреве и охлаждении

В группу реактивных материалов входят материалы, изменяющие свои физические характеристики при внешнем воздействии. Имеется ряд материалов, которые при механических воздействиях генерируют различные поля (электрические, магнитные и акустические). Регистрируя характеристики сигналов этих полей, можно определить предельные нагрузки и ресурс работы изделий из анализируемых материалов в условиях статических и динамических нагрузок.

Различают физически и химически активируемые материалы. К физически активируемым относятся следующие материалы:

- *электрически активируемые* (пьезоэлектрические);
- *магнитно активируемые* (магнитореологические жидкости и магнитострикционные вещества).

Из *электрически активируемых* (пьезоэлектрических) материалов наиболее распространены поликристаллические керамические и полимерные материалы. Их используют в датчиках различных физических параметров (сил, давлений, ускорений, ударов), а также в ультразвуковых, сейсмических и других датчиках.

К *магнитно активируемым* материалам относятся магнитореологические жидкости, способные резко увеличивать вязкость при наложении магнитного поля и способные изменять свою форму при наложении магнитного поля. Магнитореологические жидкости применяют в различных демпфирующих системах (например, в системах амортизации тяжелых машин, в регулируемых амортизаторах автотранспортных средств и др.). Магнитострикционные вещества используют в различных датчиках (деформации, положения, движения, силы, давления).

Весьма солидные перспективы имеют *химически активируемые* материалы.

К третьей группе («интеллектуальные» материалы) относят системы, которые обладают способностью не только производить самодиагностику, но и осуществлять самовосстановление. В частности, разрабатывают полимерные композиты, которые, диагностируя наличие повреждений (например, микротрещин), реализуют механизм самовосстановления путем

перераспределения материалов. Для залечивания микротрещин пытаются использовать комплексы наночастиц, которые обладают достаточной подвижностью, чтобы устранить дефекты структуры.

Можно предположить, что в недалекой перспективе материалы этой группы будут отслеживать в процессе эксплуатации деформации, вибрации, износ и другие негативные явления, происходящие с элементами конструкции, агрегатами и узлами машины. И, не доводя конструкцию до разрушения, будут компенсировать силовое воздействие окружающей среды заданным изменением соответствующих характеристик (строения, структуры, свойств) интеллектуального материала.

В будущем адаптивные материалы могут стать основными функциональными материалами для ответственных узлов и конструкций машиностроительной продукции. Их способность «чувствовать» собственное состояние и влияние внешнего воздействия, направленно реагировать на него изменением структуры и свойств позволяет надеяться на кардинальное решение проблемы надежности машин в целом.

**Наноматериалы.** В перечне приоритетных направлений развития науки и техники Беларуси особое место занимают такие перспективные материалы, как наноструктурные системы для силовых элементов конструкций и узлов машин.

К наноструктурным материалам (наноматериалам) относят структурные элементы, размеры которых составляют 1–100 нм (1 нм =  $10^{-9}$  м, «нано» от греческого *nanos* – карлик). Это могут быть кристаллы, частицы, волокна, слои, покрытия, а также отдельные элементы структуры или компоненты сплавов и композитов.

Большой интерес к этим материалам связан с возможностями нанотехнологий получать материалы, которые по свойствам многократно превосходят известные материалы, изготовленные по традиционной технологии.

Аномально высокий уровень свойств наноматериалов обусловлен двумя основными причинами: во-первых, *размерным эффектом*, поскольку в нанозементах с уменьшением размеров увеличивается доля активных атомов, которые располагаются на поверхности, во-вторых, *соизмеримостью* наночастиц с характерными параметрами, определяющими многие физические свойства твердых тел: длиной свободного пробега электронов, длиной волны упругих колебаний, размером магнитных доменов в ферромагнетиках и др.

Наноматериалы для мобильной техники можно разделить на следующие группы:

1) *дисперсные системы*, в том числе нанопорошки материалов, сплавов, интерметаллов, оксидов, карбидов, нитридов, боридов и др.;

2) *компактные* (так называемые *консолидированные или массивные*) *материалы*, состоящие из зерен нанометрового размера и получаемые из дисперсных систем методами порошковой металлургии (т. е. припеканием при высоких температурах);

3) *тонкослойные наносистемы* в виде покрытий или пленок, сформированных путем конденсации металлов из газовой фазы, и фольги, полученной путем пластического деформирования тонкого слоя наночастиц;

4) *сплавы и композиты*, содержащие наноструктурные модификаторы (легирующие добавки, армирующие наполнители, пластификаторы и др.).

В настоящее время наносистемы перечисленных групп используют в технике в различных масштабах.

Наносистемы первой группы применяют довольно давно: суспензии наночастиц некоторых металлов (как правило, железа или его сплавов) размером от 30 нм до 1 мкм вводят в качестве присадок в моторные масла для восстановления изношенных элементов двигателей внутреннего сгорания.

Наносистемы второй и третьей групп в мобильной технике еще не нашли широкого применения. В основном их использование ограничивается исследовательскими работами или малыми сериями изделий (для испытаний или опытной эксплуатации). Это связано с высокой стоимостью наносистем этих групп, а также с повышенной трудоемкостью технологического процесса с учетом довольно крупных габаритов деталей силовых трансмиссий машин.

Четвертая группа наносистем является наиболее привлекательной с экономической и технологической точек зрения для конструкционных и триботехнических материалов, а также изделий из них. Существенное повышение свойств матрицы (металла или полимера) достигается за счет введения малых количеств нанодисперсных модификаторов. Введение небольшого количества (1–5 мас. %) наночастиц по свойствам эквивалентно введению в матрицу 20–40 мас. % традиционных армирующих наполнителей. Это отражается на массе изделий: детали из нанокомпозитов на 20 % легче, чем детали из высоконаполненных композитов, и на 80 % превосходят детали из стали.

Наибольший интерес представляют *полимер-силикатные, полимер-углеродные и металлосодержащие нанокомпозиты*.

Способность нанонаполнителей существенно улучшать эксплуатационные свойства полимеров связана с очень большой удельной поверхностью наночастиц. Поэтому даже при небольшой концентрации практически вся полимерная матрица приобретает структуру граничных с

частицами слоев, которая отличается более совершенным расположением макромолекул полимера.

Анализируя современное состояние наносистем применительно к машиностроению, можно отметить, что научные разработки пока еще не вышли за рамки исследований и опытных испытаний, но имеют весьма многообещающие перспективы. В ближайшие 10–20 лет можно ожидать создания наноматериалов для широкого потребления в агрегатах и конструкциях машин, в том числе конструкционных материалов с повышенной удельной прочностью, а также триботехнических материалов, обладающих высокой износостойкостью и существенно превосходящих по другим эксплуатационным свойствам современные сплавы и композиты. При этом технология станет более совершенной, поскольку в настоящее время серьезной проблемой является обеспечение равномерного распределения наномодификаторов в объеме матрицы.

В более отдаленной перспективе можно предположить возможность моделирования и конструирования структуры материала на атомно-молекулярном уровне для получения необходимого набора технологических характеристик и эксплуатационных свойств с учетом формы и конфигурации деталей и конструкций, нагрузок и условий эксплуатации машин.

#### **4.2 Технологическая рациональность конструктивных решений**

Комплексное решение задач ресурсосбережения и экологической безопасности обеспечивают перспективные материалы, конструкции и технологии их изготовления. Выбор оптимального конструктивного решения должен учитывать особенности материалов и технологий, а также условия эксплуатации деталей и узлов машин (рисунок 4.3).

При наличии нескольких вариантов конструктивного исполнения, как правило, выбирается наиболее простой и дешевый. При этом конструкция всегда находится в неразрывной связи с материалами и технологией. Создаются новые материалы, появляются новые методы их обработки и в соответствии с этим изменяются конструктивные исполнения. Поэтому при решении любой конструкторской задачи необходимо учитывать взаимосвязь и взаимовлияние конструкции, материалов и технологий.

Важную роль в достижении их баланса играет технологичность конструкции. *Технологичность конструкции машины* – это совокупность свойств конструкции машины, обеспечивающих заданные показатели качества *при минимальных затратах* на ее производство, эксплуатацию, ремонт и утилизацию. Иными словами, технологичность можно охарактеризовать как комплекс свойств конструкции, обеспечивающих

ресурсосбережение при изготовлении, эксплуатации, ремонте и утилизации машины. Соответственно, различают производственную, эксплуатационную и ремонтную технологичности конструкции, показатели которых закладывают уже при проектировании машины.



Рисунок 4.3 – Взаимосвязь свойств машины с основными факторами

Одними из наиболее важных аспектов конструирования являются преемственность технических решений и функциональная целесообразность. *Преемственность технических решений*, т.е. оперативный и грамотный выбор прототипа и апробированных решений, а также совершенствование конструкций элементов узлов и машины в целом с учетом анализа накопленного опыта и перспективных технических решений значительно повышают эффективность конструирования.

*Функциональная целесообразность*, т. е. принцип соответствия выбранного решения поставленной задаче, лежит в основе этого выбора (с учетом минимизации затрат и ресурсосбережения). В частности, она предусматривает обеспечение минимально допустимых прочности и жесткости материалов конструкции, поскольку их повышение сопряжено с увеличением материало- и энергоемкости машин и механизмов, а также с удорожанием их изготовления и эксплуатации. Вместе с тем, решение функциональных задач должно базироваться на возможности выбора наиболее эффективного варианта из широкого спектра схем и конструкций.

Так, для деталей механических передач силовых трансмиссий машин целесообразно (по возможности) использовать углеродистые стали, улучшенные термической или химико-термической обработкой, а также углеродистые стали с тонкослойными покрытиями из сплавов, обеспечивающих увеличение их износостойкости и коррозионной стойкости, взамен дорогостоящих легированных сталей. В качестве

конструкционных материалов несилowych и малонагруженных конструкций все шире применяют пластмассы и композиты на основе полимеров.

При возможности выбора механизмов, их привода и узлов следует стремиться к упрощению структурных и кинематических схем и повышению эффективности работы механизмов, опираясь на принципы материал- и энергосбережения. Механизмы и приводы вращательного движения предпочитают устройствам, в которых присутствует возвратно-вращательное движение, а индивидуальный привод каждого исполнительного звена – общему приводу с разветвленной трансмиссией. Целесообразно использовать быстроходные малогабаритные приводы и механизмы из высококачественных материалов вместо громоздких тихоходных приводов из материалов с нестабильными прочностными характеристиками. Планетарные передачи с высоким КПД, как правило, предпочитают червячным передачам. Вместо колодочных и ленточных тормозов и муфт используют дисковые и многодисковые фрикционные тормоза и муфты.

Многopotочные системы с параллельным соединением приводов и механизмов значительно эффективнее однопоточных последовательных систем. Следует отдавать предпочтение схемам с независимой передачей движения или распределения нагрузки.

В процессе технологической подготовки производства конструкцию машины отработывают на технологичность деталей, сборочных единиц и машины в целом. Технологический процесс изготовления выбирают в соответствии с конструктивным решением. При этом само решение можно совершенствовать с учетом возможностей процесса, но без ущерба для функциональных характеристик детали.

При отработке конструкции деталей на технологичность важную роль играет уменьшение материалоемкости изделий, которое обеспечивается комплексным решением ряда задач. Мероприятия по сокращению расхода материалов можно разделить на две группы.

1) конструкторские мероприятия, которые включают оптимизацию и совершенствование методов расчета, использование принципов конструирования с обеспечением равнопрочности деталей, а также применение материалов со стабильными показателями физико-механических свойств и высокой удельной прочностью.

Снижение материал- и энергоемкости связано с широким применением пластмасс и композиционных материалов на основе полимеров, поскольку их плотность в 2–5 раз ниже плотности металлов и сплавов. Помимо этого, коэффициент их использования достигает 0,90–0,95 (для металлов не превышает 0,5–0,6), а трудоемкость изготовления из них деталей (литьевым и прямым прессованием, литьем под давлением, экструзией и др.) в 5–6 раз ниже, чем деталей из металлов. Поэтому в узлах, агрегатах и механизмах

машин, где силовая нагрузка и температурные режимы эксплуатации позволяют использовать детали из полимеров и материалов на их основе, их применение дает выигрыш в трудо-, материало- и энергоемкости;

2) технологические мероприятия, которые включают разработку конструкций деталей под ресурсосберегающие технологические процессы их изготовления, использование эффективных технологических методов упрочнения материалов с учетом состава материала и свойств заготовки.

Важно обеспечить технологичность конструкции за счет применения прогрессивных методов обработки при одновременном повышении качества, точности и взаимозаменяемости деталей сборочных единиц и агрегатов, т.е. за счет технологичности сборки и ремонта.

Отработку конструкции на технологичность проводят на всех этапах создания машины, в том числе на всех стадиях разработки проектно-конструкторской документации.

На стадии разработки технического предложения анализируют варианты принципиальных схем и компоновок машины с учетом технологичности конструктивных решений.

На стадии эскизного проектирования осуществляют выбор оптимального варианта принципиальной схемы и базовой конструкции, которая должна лежать в основе проектируемой машины; унифицируют сборочные единицы и основные детали; производят расчленение машины на самостоятельные сборочные единицы; обеспечивают технологичность оригинальных деталей и выбирают для них рациональные заготовки.

На стадии технического проектирования уточняют конструкцию машины и ее сборочных единиц и определяют форму всех деталей; отработывают технологичность заготовок и выбирают для них наиболее простые конструкции сборочных единиц и деталей, а также баз сборки; определяют основные размерные цепи; обеспечивают выполнение основных технологических требований при механической обработке и сборке.

При разработке рабочей конструкторской документации завершают отработку технологичности конструкции каждой детали, сборочной единицы и машины в целом. При этом проверяют выбор технологических баз деталей, постановку размеров и назначение допусков с учетом конструктивных и технологических требований; выбирают наиболее дешевые и недефицитные материалы; ограничивают номенклатуру применяемых марок и сортамента материала; проверяют соблюдение требований к технологичности конструкции при механической обработке (доступность обработки, возможность входа и выхода инструментов, наличие надежных поверхностей для крепления деталей при обработке и др.), а также максимально возможную унификацию элементов конструкции (модулей, диаметров и др.).



При отработке конструкции машины на технологичность необходимо заложить свойства, обеспечивающие ее качественное изготовление и рациональное использование ресурсов. Это требует установления соответствия между конструкцией машины и технологией ее изготовления, обоснованного применения материалов и рациональной преемственности конструктивно-технологических решений.

Технологичность конструкции, являясь одним из показателей качества машины, влияет на технико-экономические показатели производства. Для реализации необходимого уровня технологичности конструкции машины, а также ее сборочных единиц и деталей выполняют требования, обеспечивающие уменьшение материалоемкости и снижение трудозатрат при их изготовлении, в числе которых следующие:

1) оптимальное расчленение машин и их сложных агрегатов и узлов на независимые сборочные единицы;

2) широкое использование принципов конструктивной и технологической преемственности, а также унификации и симплификации;

3) рациональное ограничение марок и сортментов материалов;

4) рациональное назначение допусков и параметров шероховатости обрабатываемых поверхностей;

5) разработка деталей, форма которых позволяет использовать высокопроизводительные методы и оборудование для механической обработки;

6) обеспечение удобства базирования деталей при их обработке;

7) соблюдение условий взаимозаменяемости деталей, упрощение сборочных работ и создание возможности их механизации и автоматизации;

8) оптимальное упрощение конструкции сборочных единиц и деталей;

9) широкое использование стандартных, нормализованных и унифицированных деталей и узлов, а также их конструктивных элементов.

Технологичность конструкции детали во многом связана с выбором баз при обработке детали, от которого зависят точность выполнения заданных размеров и точность обработки детали, конструкция приспособлений, тип режущего и измерительного инструментов. Поэтому при их выборе руководствуются *принципами единства и постоянства баз*. *Принцип единства баз* (совпадение конструкторских, технологических и измерительных баз) обеспечивает минимальную технологическую себестоимость детали из-за отсутствия погрешностей базирования, ухудшающих точность обработки. *Принцип постоянства баз* (использование одной технологической базы при обработке детали) также способствует повышению точности обработки, что, в конечном счете, отражается на технологичности детали в целом.

Уровень технологичности деталей определяется возможностями их механической обработки. Конфигурация детали должна быть образована из

элементов простых геометрических форм (цилиндров, плоскостей, конусов и др.), что позволяет использовать эффективные типовые технологические процессы обработки, а также применять высокопроизводительное оборудование, удобную и простую оснастку, средства механизации и автоматизации производства. Подавляющее большинство деталей получают свои окончательные размеры и формы после механической обработки заготовок, полученных различными способами (литьем, ковкой, штамповкой, методом порошковой металлургии и др.).

Конструкция отливок должна быть технологически рациональной и обеспечивать простоту литья и механической обработки. Выбор метода литья является важной задачей, поскольку в ряде случаев отливки являются наиболее сложными в исполнении деталями. В зависимости от применяемого способа требования к технологичности литых деталей должны учитывать конструктивные характеристики детали (массу, размеры, сложность формы, наличие отверстий и полостей), ее назначение и условия эксплуатации, а также производственные возможности.

Корпусные детали изготавливают литыми, сварно-литыми или штампово-сварными. Конструкции литых заготовок корпусных деталей должны отвечать требованиям машинной формовки: толщина стенок в различных сечениях не должна иметь резких изменений, деталь должна иметь правильную геометрическую форму с возможностью ее полной обработки от одной базы.

Штампованные и штампованно-сварные детали предпочитают литым деталям. Блочные конструкции, составленные из неразборных и неремонтируемых узлов, целесообразно использовать вместо конструкций из отдельных последовательно присоединяемых деталей.

Технологичность конструкций деталей из отливок, штамповок и прутков обеспечивается небольшим количеством обрабатываемых поверхностей с минимальными припусками на обработку. Детали должны иметь форму, которая позволяет изготавливать их высокопроизводительными методами: штамповкой на ковочных машинах или ковочных прессах, литьем под давлением с одновременной формовкой и заливкой нескольких заготовок, изготовлением деталей из ленты на автоматизированных прессах, а также формообразованием деталей из пруткового материала методом холодной высадки или высадки с индукционным нагревом.

При использовании робототехнических систем, станков с ЧПУ, гибких автоматизированных производств имеются специфичные требования к технологичности конструкций. Эффективность их применения связана с возможностью ускорить режимы обработки, уменьшить сроки подготовки программ и сократить время на переналадку оборудования при переходе к деталям другого типоразмера. Наиболее технологичными являются детали, конструкция которых обеспечивает обработку поверхностей с одной

установки и одним комплектом инструмента без применения сложных приспособлений и поворотных устройств. В механообрабатывающем производстве с помощью промышленных роботов в первую очередь автоматизируют установку на станок деталей простейших типов, которые имеют однородные по форме и расположению поверхности для базирования и захвата. Применять роботы при обработке деталей сложной конфигурации с разнообразием форм и различным расположением базовых поверхностей (вилки, рычаги, сложные корпуса и др.) в условиях мелкосерийного производства неэкономично.

Необходимость качественного проведения сборочных работ определяет ряд дополнительных требований к конструкции машин. Конструкция машины должна иметь простую компоновку и состоять из минимально возможного числа деталей и сборочных единиц. Расчленение машины и сложных сборочных единиц должно предусматривать соединение простых сборочных единиц в такой последовательности, чтобы сборочные операции не мешали выполнению других. Принципы узловой сборки, т.е. общей сборки из предварительно собранных узлов, позволяют осуществлять параллельную сборку агрегатов и узлов, в результате чего значительно сокращается цикл сборки, а также появляется возможность контроля качества каждой сборочной единицы. Для повышения точности сборки следует по возможности ограничивать число кинематических и сборочных размерных цепей, а также совмещать установочные, технологические и измерительные базы. Все это повышает уровень взаимозаменяемости и сокращает объем пригоночных работ.

Сборочные единицы должны быть рассчитаны на минимальное количество различных видов технологических процессов сборки (соединение болтами, клепкой, сваркой, пайкой).

Следует предусмотреть возможность механизации и автоматизации сборочных работ на общей и узловой сборке. При этом следует учитывать, что автоматизированная (тем более автоматическая) сборка экономически выгодна для крупносерийного производства и обуславливает дополнительные требования к деталям и сборочным единицам. Эти требования относятся к форме деталей и соединениям сборочных единиц, к предварительной ориентации и направлению движения детали при узловой сборке, к вспомогательному оборудованию и способам сборки разъемных и неразъемных соединений.

При автоматизированной сборке используют различные приемы повышения технологичности сборочного процесса, в частности, осуществляют совмещение процессов изготовления отдельных простых деталей и их сборки, а также предсборочное группирование деталей. Автоматизированное сборочное оборудование по сравнению с ручной сборкой требует более жестких допусков на детали. При

автоматизированной сборке методы полной, неполной или групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования используют в различной степени. Наиболее просто осуществляется сборка при полной взаимозаменяемости. Неполная и групповая взаимозаменяемость требуют дополнительных средств контроля и усложняют систему управления, пригонку или регулирование практически не применяют при автоматизированной сборке.

При разработке конструкции крупногабаритных деталей и сложных соединений должны быть предусмотрены специальные монтажные элементы (детали, поверхности, отверстия и другие части устройств) для их захвата манипулятором.

Технологичность в значительной степени зависит от конструкции отдельных неразборных узлов и агрегатов. Неразъемные, автоматически изготавливаемые соединения следует использовать вместо разъемных, в частности, соединения на основе термореактивных полимерных клеев предпочитают болтовым. Уплотнение неподвижных стыков целесообразно осуществлять с помощью анаэробных герметиков на основе термореактивных полимеров, а не с помощью упругих прокладок.

В современных машинах по большей части предусматривают сравнительно малогабаритные неразборные узлы при их массовом и автоматизированном производстве (электродвигатели, насосы, клапаны, форсунки и др.). Основным условием их выбора является экономическая целесообразность замены узла в целом.

### **4.3 Гибридные приводы, адаптивные и рекуперативные системы**

При создании машины следует учитывать взаимосвязь и взаимовлияние материалов, конструкции и технологий. Выбор оптимальных конструктивных решений должен производиться с учетом свойств материалов, технологий изготовления из них деталей и конструкций, а также условий их эксплуатации.

К наиболее эффективным средствам снижения потерь энергии и экономии топлива следует отнести:

- 1) развитие гибридных приводов, обеспечивающих значительное снижение расхода топлива;
- 2) совершенствование системы управления («интеллектуальное управление») механизмами и агрегатами с использованием бортовых компьютеров и микропроцессорной техники, в том числе системы электронного управления, регулирующего мощность двигателя в зависимости от нагрузки и защищающего от перегрузок;
- 3) оснащение машины энергосберегающими системами,

обеспечивающими существенное снижение потерь энергии и экономию топлива, в том числе рекуперативными приводами рабочего оборудования.

**Гибридные приводы.** Развитие гибридных приводов (иногда их называют гибридными силовыми агрегатами или просто гибридами) связано с необходимостью снижения расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания и ужесточением экологических норм на эмиссию отработанных газов. Наибольшие успехи достигнуты в области автотранспортных средств, производители которых используют гибридные приводы различных типов.

В строительных и дорожных машинах гибридные приводы (ГП) пока распространены в меньшей степени, что связано с тяжелыми условиями их эксплуатации, в том числе с необходимостью реализации больших тяговых усилий. ГП устанавливают, как правило, на машины циклического действия, в частности, на краны и погрузчики, одноковшовые экскаваторы и бульдозеры.

*Гибридным* называют привод, содержащий не менее двух источников энергии (двигателей), которые взаимно дополняют друг друга в зависимости от режима нагружения. В основе современного ГП лежит сочетание двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и электродвигателя (ЭД), оснащенных электронной системой управления, которая перераспределяет потоки энергии от ДВС и ЭД. Следует отметить, что разработка ГП стала возможной только благодаря современным достижениям в области электронных систем управления.

Прототипами ГП можно считать дизель-электрические силовые установки различных машин (в том числе одноковшовых экскаваторов, погрузчиков и кранов), которые имеют повышенную надежность узлов за счет значительного снижения количества трущихся деталей в электрических трансмиссиях. Традиционный дизель-электрический привод содержит первичный двигатель – ДВС, который через электрогенератор приводит ЭД исполнительного механизма. Отметим, что в таком приводе отсутствует возможность перераспределения энергии между ее источниками в зависимости от режима эксплуатации машины.

Развитие ГП осуществляют в двух основных направлениях:

1) равноправное объединение ДВС с ЭД (так называемые *«полные гибриды»*);

2) оснащение ДВС вспомогательным ЭД (*«неполные гибриды»*).

Первое направление, связанное с полными гибридами, активно развивается в области автотранспортных средств, однако пока не нашло развития в дорожно-строительном машиностроении из-за необходимости применения габаритных и тяжелых аккумуляторных батарей.

Второе направление развивается более успешно ведущими производителями дорожно-строительной техники. Имеется два основных варианта конструкций *неполных гибридов*:

- *параллельное* сочетание ДВС и ЭД («параллельные гибриды»);
- *последовательное* размещение ДВС и ЭД («последовательные гибриды»).

*Параллельное сочетание* ДВС и ЭД успешно осваивают ведущие производители дорожно-строительной техники. Например, компании «Komatsu» и «Hitachi» (Япония), «Volvo» (Швеция), «Caterpillar» (США), «Atlas Weyhausen» (Германия) и др. выпускают машины с гибридными силовыми агрегатами. При таком сочетании источников энергии ЭД используют как дополнение к дизельному двигателю. Совместное функционирование дизельного и электрического двигателей в составе ГП позволяет каждому источнику энергии работать в оптимальном режиме, дополняя друг друга при различных условиях эксплуатации. ЭД практически мгновенно дает дополнительную мощность, не расходуя топливо и не загрязняя окружающую среду.

Все серийно выпускаемые машины для земляных работ с параллельным расположением источников энергии имеют тяговые электродвигатели постоянного тока. Например, такие приводы имеют гибридные экскаваторы компании «Komatsu». В конструкции экскаватора (модель Komatsu HB215LC-1) использованы ДВС, а также следующие электрические компоненты:

- электрический агрегат, способный работать в режимах генератора и двигателя (мотор-генератор);
- инвертор (преобразователь переменного тока в постоянный, т.е. трансформатор);
- аккумуляторная батарея (конденсатор);
- электродвигатель постоянного тока.

Мотор-генератор объединен с маховиком ДВС и располагается между дизелем и гидронасосом привода исполнительных механизмов (рабочих органов). При работе в режиме генератора мотор-генератор вырабатывает переменный ток и передает его в трансформатор, который преобразует переменный ток в постоянный и передает его в накопительный конденсатор. В свою очередь, конденсатор накапливает постоянный ток и отдает электроэнергию или электродвигателю, или мотор-генератору в зависимости от режима эксплуатации. Современные аккумуляторы гибридов иногда называют суперконденсаторами, поскольку их электрическая емкость превосходит емкость традиционных аккумуляторов на порядок и более.

Одна из главных особенностей ГП – это способность возвращать энергию, которая в традиционных гидроприводах теряется безвозвратно.

При замене гидропривода поворота платформы на гибридный вариант (по данным опытных испытаний компании «Komatsu») экономия топлива достигает 30-40 % в зависимости от вида строительных работ по сравнению со стандартными аналогами той же фирмы. ЭД гибрида преобразовывает механическую (кинетическую) энергию торможения при повороте платформы в электрическую. При торможении ЭД работает как генератор и через блок управления передает энергию торможения обратно в конденсатор. Она запасается в конденсаторе и используется для питания электродвигателя или мотор-генератора. Если электроэнергия поступает в мотор-генератор, он работает в режиме электродвигателя и помогает дизелю приводить в действие гидронасосы рабочих органов. Мотор-генератор способен развивать дополнительную мощность более 40 кВт.

Работу ПП регулирует электронная система управления, которая обеспечивает эффективное использование электроэнергии для функционирования машины в зависимости от условий эксплуатации в различных вариантах: мотор-генератор в режиме ЭД вместе с ДВС приводит механизмы или в режиме генератора заряжает накопительный конденсатор, а конденсатор передает электроэнергию ЭД или мотор-генератору.

Таким образом, сочетание ДВС и ЭД имеет следующие особенности:

– гибридная силовая установка может работать как двигатель и как генератор;

– появляется возможность уменьшения мощности ДВС без снижения общей мощности силовой установки;

– снижается расход топлива и выбросов отработанных газов в атмосферу из-за уменьшения мощности дизельного двигателя;

– требуются незначительные изменения в конструкции дизельного двигателя без изменения конструкции машины;

– отпадает необходимость в генераторе и стартере.

Представления о характеристиках параллельного гибрида дает следующая информация (на примере грузовиков компании «Volvo»): напряжение на аккумуляторной батарее составляет 600 В, мощность ЭД – 120 кВт, мощность ДВС – 300 л.с.

*Неполные гибриды с последовательным расположением ДВС и ЭД* (последовательные гибриды), строго говоря, не являются гибридами, к которым их традиционно причисляют. Конструкция такого привода обеспечивает последовательный переход механической энергии ДВС в электрическую энергию генератора и затем обратно в механическую при помощи ЭД, т.е. первичный двигатель приводит ЭД без обратной силовой связи, как в параллельных гибридах. Между тем, такие неполные гибриды находят все более широкое применение, поскольку существенно упрощают трансмиссионные передачи по сравнению с механическими аналогами.

В качестве примера *последовательного гибрида* можно привести привод хода бульдозера (модели D7E), выпущенного компанией «Caterpillar». В этом бульдозере первичным является дизельный ДВС, который через генератор переменного тока приводит два бортовых тяговых ЭД переменного тока. Каждый из них кинематически через бортовые редукторы связан с ведущей звездочкой гусеничного движителя, осуществляя передвижение бульдозера. В таком варианте привода значительно упрощается трансмиссия, поскольку отпадает необходимость в коробке перемены передач, карданном вале и других элементах механических передач. По существу ЭД переменного тока выполняют функции элементов бесступенчатой трансмиссии. Такой гибрид увеличивает ресурс машины в целом, упрощает систему управления бульдозером благодаря наличию микропроцессорной техники, повышает удельную производительность на 25 % и уменьшает количество деталей трансмиссии на 60 %.

Следует отметить, что использование гибридных установок повышает стоимость машин на 20–25 %, тем не менее за счет упомянутых технико-экономических достоинств первоначальные финансовые вложения быстро окупаются в период эксплуатации.

**Адаптивные системы.** В последние годы интенсивно развивается ресурсосберегающее направление развития машин, связанное с оптимизацией режимов эксплуатации машин за счет гибкого автоматизированного управления параметрами технологического процесса с обратной связью.

Адаптивные системы являются самонастраивающимися устройствами, способными анализировать по заданным критериям качество своей работы и корректировать режимы ее выполнения с учетом этого качества. Благодаря наличию комплексной автоматизированной системы управления, контроля и регулирования такие агрегаты обладают способностью перестраивать режимы своего воздействия на окружающую среду (или обрабатываемый материал) на основе получаемой в реальном времени информации об эффективности этого воздействия. Для этого электронная система управления интеллектуального агрегата должна обеспечить:

- 1) контроль состояния среды;
- 2) управление воздействием рабочих органов на среду в зависимости от ее состояния;
- 3) управление параметрами силовой установкой в зависимости от нагрузки;
- 4) контроль состояний самого агрегата, включая самодиагностику его узлов и агрегатов.



*Подсистема контроля состояния среды* базируется на информации оперативного контроля состояния среды, получаемой от соответствующих датчиков машины.

В подсистеме *адаптивного управления параметрами* машины основную роль играют алгоритмы управления параметрами рабочих органов на основе заложенных в программу математической модели и информации от упомянутых датчиков обратной связи.

*Подсистема адаптивного управления двигателем* обеспечивает минимизацию расхода топлива и снижение вредных выбросов продуктов сгорания, а также автоматически изменяет значения мощности двигателя и скорости в зависимости от внешней нагрузки для достижения оптимальной эффективности и экономичности.

*Подсистема контроля состояния самой машины*, ее агрегатов и узлов повышает их надежность (в том числе ремонтпригодность) за счет применения встроенных диагностических устройств с выводом данных о месте и характере неисправности на приборную панель или дисплей бортового компьютера.

Таким образом, комплексная адаптивная система обеспечивает расширение функциональных возможностей машин и высокое качество работ при заданной производительности, снижение энергоемкости и повышение экономичности, увеличение производительности за счет повышения точности рабочих операций. Кроме того, она способствует удовлетворению требований международных стандартов *ISO 14000* «Система экологического управления», которые регламентируют условия экологической безопасности машин.

Следует обратить особое внимание на проблему безопасности, поскольку в системе «оператор – машина» довольно часто слабым звеном является человеческий фактор. Агрегат, оснащенный комплексной автоматизированной системой управления, позволяет минимизировать влияние этого фактора и снизить риски, связанные с ним. Производители одноковшовых экскаваторов еще в прошлом веке начали использовать такие системы управления, поскольку при наличии различных рабочих режимов функционирования силовой установки оператор выбирает, как правило, режим с наибольшей мощностью независимо от условий эксплуатации. Поэтому многие компании («Caterpillar», «Volvo» и др.) отказались от ручного управления, убрав с панели управления выключатели режима работы и мощности двигателя. Таким образом, не оператор выбирает режим работы, а адаптивная бортовая система управления. При копании она управляет рабочими органами и механизмом поворота платформы, выбирая наиболее экономичный режим эксплуатации.

В плане применения интеллектуальных систем управления наиболее показательным примером является вибрационная техника последнего

поколения для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов. Законодатели высокотехнологичных разработок в области дорожной техники (компании «Ammann», «Bomag», «Caterpillar», «Дунпарс», «Hamm», «Sakai» и др.) выпускают вибрационные дорожные катки с системой *IC* (от англ. *Intellectual Compaction* – интеллектуальное уплотнение) для земляного полотна, щебеночного покрытия и асфальтобетонной смеси. Их стоимость на 20–30 % выше стоимости обычных катков, однако они имеют ряд значительных достоинств.

Система *IC* вибрационного катка включает описанные ранее четыре подсистемы и обеспечивает непрерывные измерение и регистрацию жесткости уплотняемого материала, автоматически корректируя процесс уплотнения в режиме реального времени на основе этих измерений. На большинстве катков для измерения положения вибровальца относительно рамы катка используют датчики усилий и перемещений. При этом жесткость уплотняемого материала оценивают по силе реакции вибровальца. Именно этот показатель (величина реакции вибровальца) используют в программном обеспечении бортового компьютера катка для регулирования давления вибровальца на уплотняемый материал.

Поскольку энергия уплотнения корректируется по результатам измерений жесткости, процесс уплотнения ускоряется, что сопровождается снижением числа проходов катка. При уплотнении изменяется несущая способность обрабатываемого материала: на начальной стадии она невелика, а затем по мере уплотнения возрастает. Соответственно растет давление, которое оказывает вибровалец на материал. Управление этим процессом осуществляют за счет регулирования как статической, так и динамической составляющих давления катка, передаваемого вибровальцом обрабатываемому материалу.

Регулирование статической составляющей давления вибровальца катка осуществляют изменением силы тяжести, приходящейся на него, а также формы и площади контакта вальца с уплотняемой поверхностью.

Регулирование динамической составляющей давления катка достигается управлением вынуждающей силой вибровозбудителя, частотой и характером колебаний, а также изменением вектора направленных колебаний.

Система *IC* позволяет исключить ошибки, связанные с неправильным выбором режимов работы катка и нарушением технологии уплотнения, а также сократить технологические перерывы для контроля плотности уплотняемого материала и исключить повторные и рекламационные работы.

К основным достоинствам катков с системой *IC* относятся: во-первых, увеличение производительности за счет уменьшения числа проходов, что сопровождается сокращением времени обработки и экономией топлива; во-вторых, повышение качества уплотнения за счет рационального управления

технологическим процессом и, в-третьих, повышение надежности машины за счет системы контроля параметров агрегатов катка; в-четвертых, увеличение долговечности дорожных покрытий за счет повышения однородности уплотняемого материала.

Таким образом, система электронного управления всеми узлами и агрегатами виброкатка обеспечивает способность машины гибко регулировать параметры своего функционирования и воздействия при изменении внешних условий, чтобы получить высокие показатели качества, производительности, ресурсосбережения и экологической безопасности.

Можно сказать, что вибрационные катки стали эффективной базой для дальнейшего освоения высоких технологий в дорожной технике. Вполне очевидно, что достигнутые результаты получают свое дальнейшее развитие в других машинах и технологиях.

Эффективным средством снижения трудоемкости являются адаптерные устройства для быстрой смены рабочего оборудования мобильных машин, оснащенные интеллектуальными системами управления процессом замены. Например, на ряде моделей гидравлических экскаваторов число сменного рабочего оборудования достигает 20 типов, которые позволяют вести земляные (прямыми и обратными лопатами), погрузочно-разгрузочные (погрузочными ковшами и грейферами), монтажно-ремонтные (захватами, фрезами, крюковыми подвесками, ножницами и пилами), а также отделочно-ремонтные (виброплощадками, трамбовочными плитами, плитоукладчиками) работы. Замена сменного рабочего оборудования традиционными способами с выходом машиниста из кабины управления требует довольно много времени и ручного труда.

Поэтому для ускорения и упрощения переоснащения машины необходимым рабочим оборудованием используют специальные устройства *квик-каплеры* (от англ. *quick coupler* – быстродействующее соединительное устройство), которые обеспечивают его замену, механическую фиксацию и присоединение необходимых гидролиний для питания различных исполнительных механизмов в автоматизированном режиме. Устройство представляет собой монтажную панель – промежуточный элемент между посадочными местами сменного рабочего оборудования и базовой машины. Ее оснащают захватами для размещения в них ответных элементов крепления рабочего оборудования и фиксатором и устанавливают на ведомом звене рабочего оборудования.

Из современных быстросъемных адаптерных систем наиболее перспективной является интеллектуальная система для замены рабочего оборудования компании «Oil Quick». Она имеет автоматизированные подсистемы идентификации и опознания сменных элементов, которые распознают тип рабочего оборудования, его привод и автоматически

устанавливают необходимые давление и расход рабочей жидкости, что находит отражение на дисплее оператора в кабине управления.

Развитие квик-каплеров с интеллектуальными системами управления может существенно сократить состав типоразмерных рядов дорожно-строительных машин, ограничившись значительно меньшим числом базовых типоразмеров, но оснащенных автоматизированными адаптерными системами и широкой гаммой сменного рабочего оборудования.

**Рекуперативные системы привода машин.** Рекуперация (от англ. *to recuperate* – восстановить, возобновить) энергии движущихся частей привода и рабочего оборудования машин является эффективным средством ресурсосбережения. Наиболее активно используют рекуперативные (или рекуперационные) приводы в машинах циклического действия, например, в одноковшовых экскаваторах, кранах, погрузчиках, а также в других машинах с циклическим характером последовательно выполняемых операций, поскольку потери энергии в рабочем цикле достигают 50 %.

Большинство мобильных машин и оборудования оснащены гидроприводом, который имеет сравнительно низкий КПД. Для повышения его энергоэффективности применяют разнообразные методы и средства. В их числе установка аккумулирующих систем, замена дроссельного регулирования объемным управлением, использование многопоточных насосов с разгрузкой отдельных секций, применение электронных систем пропорционального управления, регулирование гидронасосов с использованием энергосберегающих механизмов, а также применение различных способов рекуперации энергии при подъеме – опускании рабочего оборудования и торможении движущихся масс.

Наиболее эффективным средством энергосбережения мобильных машин с гидроприводом рабочего оборудования являются рекуперативные системы с аккумулятором необходимой энергоемкости. Для гидравлических одноковшовых экскаваторов (самых распространенных дорожно-строительных машин) такие системы следует разделить на четыре группы:

- 1) *механические*:
  - с противовесами;
  - с пружинными или торсионными аккумуляторами;
- 2) *тепловые*:
  - с тепловыми аккумуляторами;
- 3) *гидравлические*:
  - с гидроаккумуляторами;
  - с дополнительными гидронасосом и гидромоторами;
- 4) *комбинированные*:
  - с электрогидроагрегатами.

Самыми простыми являются *механические аккумуляторы*, снижающие затраты при работе рабочего оборудования [7]. Примером пружинного

механического аккумулятора энергии может служить конструкция, представленная на рисунке 4.4. Тарельчатые пружины 2 уравнивают рабочее оборудование экскаватора, снижая энергозатраты на копание ковшом 3 обратной лопаты.

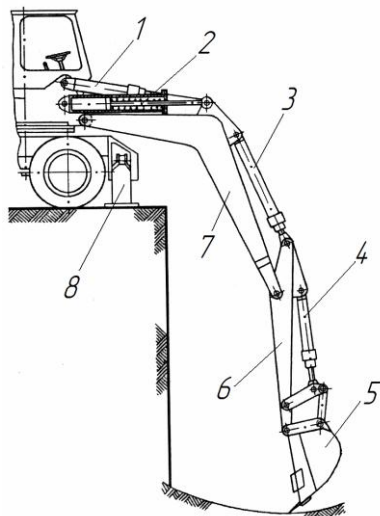


Рисунок 4.4 – Схема рекуперативной системы экскаватора с пружинным аккумулятором:

1 – гидроцилиндр управления стрелой;  
 2 – тарельчатая пружина; 3 – гидроцилиндр управления рукоятью; 4 – гидроцилиндр управления ковшом; 5 – ковш обратной лопаты; 6 – рукоять; 7 – стрела; 8 – опора

Предпринимаются попытки использовать *тепловые аккумуляторы* для рекуперации энергии при подъеме и опускании рабочего оборудования. В этом варианте система рекуперации должна преобразовывать потенциальную энергию положения груза при опускании в тепловую энергию, а затем тепловую энергию – в механическую для подъема груза.

Более эффективными, но и более сложными по конструкции являются *гидравлические рекуперативные системы*. Имеется два варианта реализации рекуперативных гидросистем.

Во-первых, это установка на валу ДВС гидронасоса для подкрутки маховика через дополнительный гидромотор и накопления энергии попутных нагрузок в двух дополнительных насосах-моторах, которая затем используется в нагруженных циклах работы экскаватора.

Во-вторых, это гидросистемы с накоплением энергии в гидроаккумуляторе при опускании стрелы экскаватора с последующим использованием запасенной энергии для ускорения подъема рабочего оборудования. В качестве примера использования гидроаккумулятора в сочетании с дополнительным гидроцилиндром можно привести схему, представленную на рисунке 4.5. Стрела 1 снабжена рабочим гидроцилиндром 4 и вспомогательным плунжерным гидроцилиндром 5

одностороннего действия. При подъеме рабочего оборудования рабочую жидкость подают в поршневую полость основного гидроцилиндра 4 и в поршневую полость вспомогательного гидроцилиндра 5 (по гидролинии 6 через обратный клапан 7 в гидроаккумулятор 9 и по достижении в клапане 8 заданного давления жидкости). Таким образом, подъем рабочего оборудования производят совместными усилиями двух гидроцилиндров. При этом избыток рабочей жидкости поступает в штоковую полость гидроцилиндра 4, масло через обратный клапан 10 из гидроцилиндра 5 попадает в аккумулятор 9. Обратный клапан 7 отсоединяет заряженный аккумулятор от поршневой полости гидроцилиндра 4, который в это время соединен со сливом.

Из всех разработок рекуперативных систем доведен до серийной продукции (или опытных образцов) метод безнасосного опускания стрелоподъемного механизма. В частности, компании «Nobas-Nordhausen», «Case-Polkain», ОАО «Ковровец» и др. используют этот рекуперативный метод опускания стрелы в одноковшовых экскаваторах. Имеется два варианта его реализации:

1) соединение поршневой полости гидроцилиндра стрелы со сливной гидролинией через регулируемый дроссель и подпитки штоковой полости цилиндра из сливной гидролинии. Этот вариант использован в приводах экскаваторов ЭО-3323А и ЭО-4125. Безнасосный режим опускания стрелы обеспечен применением дополнительного гидрораспределителя, управление которым осуществляют от отдельной линии управления;

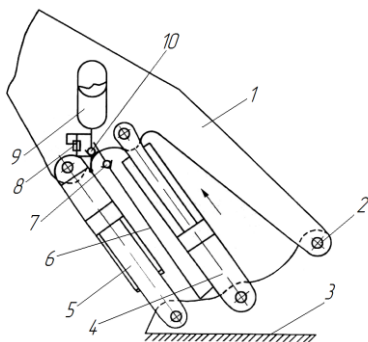


Рисунок 4.5 – Схема рекуперативной гидросистемы одноковшового экскаватора:  
 1 – стрела; 2 – пята стрелы;  
 3 – поворотная платформа; 4 – основной гидроцилиндр управления стрелой; 5 – вспомогательный гидроцилиндр; 6 – гидролиния; 7 – обратный клапан; 8 – клапан; 9 – гидроаккумулятор; 10 – обратный клапан

2) объединение поршневой и штоковой полостей гидроцилиндра стрелы через П-образный канал и соединение с сливной гидролинией через регулируемый дроссель. На рисунке 4.6 представлена рекуперативная система гидропривода экскаватора Э-4225А. В режиме безнасосного

опускания стрелы экскаватора поршневая полость цилиндра *1* соединена с его штоковой полостью через П-образный канал и с сливной гидролинией *11* через дроссель *3*. В канал встроен обратный клапан *4* с дросселем *3* со стороны штоковой полости гидроцилиндра *1*. Золотник *5* удерживается в таком положении гидроупором *8*, а поток рабочей жидкости освобождается для выполнения совмещаемых с опусканием стрелы операций. Клапан *4* и регулируемый дроссель *3* в сливном канале обеспечивают быстрое опускание стрелы. При переводе золотника в нейтральное положение клапан и дроссель обеспечивают фиксированное положение рабочего оборудования экскаватора. Гидроупор *8* останавливает золотник в позиции II, что позволяет зафиксировать безнасосный режим и перейти к насосному режиму. Клапан *4*, встроенный в П-образный канал, остается открытым при малых потоках рабочей жидкости в режиме свободного перемещения стрелы, когда положение стрелы задано положением рукояти.

Для более эффективного сокращения рабочего цикла и экономии энергии при опускании рабочих органов компанией «Caterpillar» на экскаваторе модели 325CL установлены две рекуперативные системы – и для стрелы, и для рукояти.

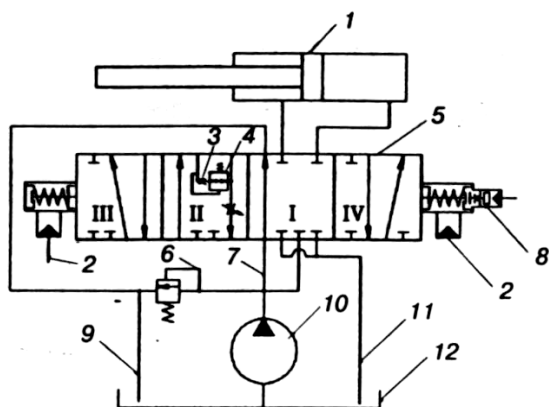


Рисунок 4.6 – Схема рекуперативной системы экскаватора с П-образным каналом в гидроцилиндре:  
*1* – гидроцилиндр;  
*2* – линии ервоуправления;  
*3* – дроссель;  
*4* – нормально открытый обратный клапан;  
*5* – четырехпозиционный распределитель;  
*6* – предохранительный клапан; *7* – гидролиния проточного канала;  
*8* – гидроупор;  
*9, 11* – сливные гидролинии; *10* – гидронасос; *12* – гидробак

В ряде гидравлических систем, помимо рекуперации энергии попутных нагрузок, делаются попытки использовать теряемую (переходящую в тепло) энергию переходных процессов [7]. В качестве примера одного из вариантов рекуперативной системы на рисунке 4.7 представлена гидросхема блока рекуперации энергии попутных нагрузок, а также рекуперации потерь переходных процессов.

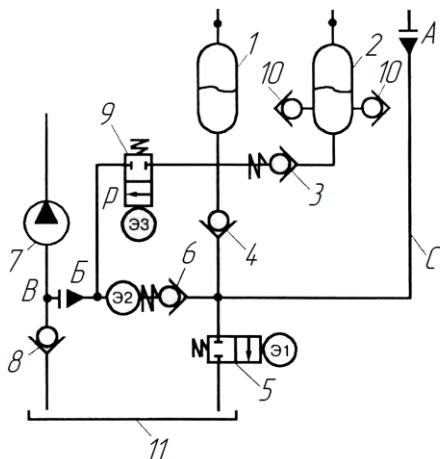


Рисунок 4.7 – Гидросхема блока рекуперации гравитационных и инерционных сил:

- 1, 2 – пневмогидроаккумуляторы;
- 3 – обратный перепускной клапан;
- 4 – обратный клапан;
- 5, 9 – гидрораспределители;
- 6 – обратный клапан; 7 – гидронасос;
- 8 – обратный всасывающий клапан;
- 9 – золотник рекуперации;
- 10 – обратный клапан;
- Э1, Э2, Э3 – электромагниты;
- В – всасывающая гидролиния;
- С – сливная гидролиния;
- Р – гидролиния рекуперации

Ее основой являются два пневмогидравлических аккумулятора: 1 – для накопления энергии гравитационных сил с изменяемой настройкой входного давления; 2 – для накопления энергии инерционных сил и возвращенной энергии переходных процессов с постоянным значением входного давления. Они соединены между собой перепускным обратным клапаном 3, который срабатывает при достижении в аккумуляторе 2 максимального давления рабочей жидкости, а также соединены со сливной гидролинией С через обратный клапан 4. Сливная линия С соединена с гидробаком одноходовым двухпозиционным гидрораспределителем 5 с дистанционным электромагнитным управлением через электромагнит Э1. С помощью обратного клапана 6 сливная линия С соединена со всасывающей линией В гидронасоса 7, в которой установлен обратный всасывающий клапан 8.

Энергия рабочей жидкости, накопленная в аккумуляторах 1 и 2, через золотник 9 при срабатывании электромагнита Э3 поступает в гидролинию рекуперации Р, которая связана со всасывающей линией В насоса 7.

Рассмотренный блок можно подсоединить к гидроприводу машины в точке А (окончание сливной линии) и в точке Б (всасывающей линии).

Следует отметить, что к настоящему времени эти конструкции не вышли за рамки экспериментальных разработок, поэтому пока не налажено серийное производство оборудования с гидроприводом, обеспечивающим рекуперацию энергии гравитационных и инерционных сил, а также переходных процессов.



В комбинированных электрогидравлических системах используют упомянутые ранее последовательные и параллельные гибриды, которые обеспечивают накопление энергии попутных нагрузок при помощи мощных аккумуляторных батарей.

В настоящее время наибольшие успехи по рекуперации энергии достигнуты для одноковшовых экскаваторов, т.е. машин циклического действия. Вместе с тем, имеются значительные резервы для расширения этого направления ресурсосбережения. По данным работ, обобщенных в пособии [7], при эксплуатации экскаватора с обратной лопатой полезное использование энергии составляет всего около 51 %. С другой стороны, потери энергии в гидроприводе рабочих органов достигают в ряде случаев 50 %. Поэтому создание гидропривода с эффективной системой рекуперации энергии является одним из главных резервов рационального использования энергоресурсов экскаваторов. Вполне понятно, что это направление ресурсосбережения имеет весьма обнадеживающие перспективы не только для дорожно-строительных машин циклического действия, но и для машин непрерывного действия.

#### **4.4 Развитие методов стандартизации и унификации**

Традиционные методы стандартизации (унификация и типизация, агрегатирование и блочно-модульная компоновка, взаимозаменяемость) являются базой ресурсосбережения. Помимо них, важную роль играют такие виды стандартизации, как параметрическая, комплексная и опережающая. Методы стандартизации непрерывно обновляются с развитием машиностроения. В свою очередь, систематическое обновление стандартов обеспечивает повышение качества машиностроительной продукции.

В условиях рыночной экономики предъявляются высокие требования к продукции машиностроения, в том числе к строительным и дорожным машинам, выпускаемым в Беларуси. Особую актуальность приобретают методы стандартизации как составляющие конкурентоспособности отечественных машин и механизмов. Они способствуют удешевлению продукции машиностроения за счет серийного производства стандартных деталей и агрегатов машин, имеющих улучшенные показатели. Использование стандартных и унифицированных деталей уменьшает их номенклатуру, что также дает значительный экономический эффект.

**Стандартизация** – это установление технических требований (норм, правил) к объектам для их многократного применения при решении постоянно повторяющихся задач. Она направлена на достижение оптимальной степени упорядочения в области разработки, производства,

эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции (СТБ 1500-2004).

*Техническое нормирование* – это установление *обязательных* для соблюдения технических требований, связанных с *безопасностью* продукции и процессов ее разработки, а также производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации.

Основной целью стандартизации и технического нормирования является обеспечение безопасности человека и окружающей среды, унификации и взаимозаменяемости, повышения качества продукции и экономии материальных ресурсов.

В числе основных отечественных принципов технического нормирования и стандартизации – использование современных достижений науки и техники, гармонизация требований отечественных стандартов с международными и межгосударственными стандартами, а также обязательность применения нормативно-технических документов. Для установления единых правил планирования работ по техническому нормированию и стандартизации разработан отечественный технический кодекс ТКП 1.6-2006 (03220) «Система технического нормирования и стандартизации», который устанавливает с 2007 года более совершенную структуру плана государственной стандартизации.

Расширение масштабов внешней торговли и необходимость широкой интеграции Беларуси в мировое экономическое сообщество обуславливают необходимость гармонизации действующих норм и правил, в том числе стандартов.

*Гармонизация стандарта* – это приведение его содержания в соответствие с другим стандартом для обеспечения взаимозаменяемости продукции, взаимного понимания результатов испытаний и информации, содержащейся в стандартах. Гармонизация требований государственных стандартов заключается в приведении их в соответствие с международными, европейскими и национальными стандартами других стран.

Основными международными стандартами в области машиностроительной продукции являются стандарты Международной организации по стандартизации ISO (International Association of Standardization, ИСО), аббревиатура которой произошла от греческого слова «isos» – равный. Беларусь является членом ИСО с 1993 года и в настоящее время участвует в 55 технических комитетах ИСО (в качестве активного участника – в 11, наблюдателя – в 44). ИСО способствует гармонизации национальных стандартов, разрабатывает единые стандарты и подходы к техническим регламентам, к обеспечению безопасности и надежности продукции.

Примером гармонизации требований безопасности эксплуатации дорожной техники могут служить отечественные стандарты для машин по содержанию автомобильных дорог. Разработаны стандарты СТБ ЕН 13021-2006 «Машины для зимнего содержания дорог. Требования безопасности», СТБ ЕН 13019-2006 «Машины для очистки дорожных покрытий. Требования безопасности» и СТБ ЕН 13524-2007 «Машины для содержания автомобильных дорог. Требования безопасности». В этих стандартах рассмотрены все значительные опасности, возникающие при эксплуатации машин для содержания автомобильных дорог, а также приведены технические мероприятия по обеспечению безопасности при их работе, наладке, регулировке, разгрузке и периодическом техническом обслуживании.

Стандарт СТБ ЕН 13019-2006 распространяется на съемное и постоянно установленное на шасси оборудование для удаления смета с проезжей части автомобильной дороги, к которому относятся машины с пневматической и механической подачей мусора в бункер, устройства для очистки, полива и мойки дорожных покрытий, транспортирующее оборудование, системы погрузки и бункеры для сбора мусора и наносов. Стандарт устанавливает требования безопасности к машинам, их составным частям, к органам управления и защитным устройствам, а также методы проверки этих требований.

СТБ ЕН 13021-2006 охватывает машины, предназначенные для поддержания проезжей части дорог ото льда и снега в зимних условиях. Требования безопасности этого стандарта распространяются на плужные снегоочистители, снегоочистительные машины с роторными, плужно-роторными и шнекороторными рабочими органами, разбрасывателями антигололедных составов со шнековым и ленточным конвейером. В стандарте изложены требования к конструкции машин и их составных частей, к органам управления, гидравлическим и пневматическим системам, а также приведены методы проверки этих требований.

СТБ ЕН 13524-2007 распространяется на машины, которые, находясь на проезжей части, обрабатывают ее и прилегающие к ней территории. К ним относятся механические подметально- и мусороуборочные, мульчирующие, бурильные машины, машины для обслуживания обочин и скашивания растений, для очистки оборудования автомобильных дорог и др. Стандарт устанавливает требования безопасности к конструкции машин и их составных частей, органам управления, гидравлическим и пневматическим системам, системам безопасности и специальным системам защиты и защитным ограждениям движущихся частей.

В машиностроении объектами стандартизации могут быть методы расчета, материалы и заготовки, технологические процессы изготовления деталей и сборки узлов, агрегаты и машины, их безопасность и экология.

Стандартизация и техническое нормирование формируют систему нормативно-правовых актов, определяющих требования к машиностроительной продукции (к ее разработке, производству и применению), а также контроль за правильностью использования этой документации. Эта система является постоянно обновляющейся структурой, которая должна учитывать современные научно-технические разработки в области машиностроения, глобализацию рынка, а также перспективные требования потребителей с учетом экологической безопасности и ресурсосбережения.

Важным аспектом стандартизации является комплексный подход к проблемам создания и функционирования машин. Он реализуется в двух основных направлениях:

а) в нормативно-техническом обеспечении всех стадий жизненного цикла машин (проектно-конструкторские работы, производство, эксплуатация, ремонт и утилизация);

б) в совокупной стандартизации сырья, материалов, комплектующих и готовых изделий.

При этом обеспечивается взаимосвязь характеристик машин (их деталей и узлов) со свойствами материалов, сырья и комплектующих изделий.

На *стадии проектно-конструкторских работ* стандарты устанавливают единую систему конструкторской документации (ЕСКД), систему допусков и посадок, резьб и других конструктивных элементов, систему обозначений и кодирования. О значимости стандартизации на этой стадии свидетельствуют отечественный и зарубежный опыт: до 60–70 % брака изделий машиностроения связано с просчетами при проектировании и конструировании, а также с отклонениями от требований и правил нормативно-технической документации.

На *стадии производства* используют единую систему технологической подготовки производства (ЕСТПП) и единую систему технологической документации (ЕСТД), регламентируют методы испытаний опытных образцов. Выпуск продукции осуществляют в соответствии с требованиями стандартов на типовые технологические процессы и технологические режимы, влияющие на качество изделий. При производстве используют стандартные технологическое оборудование, оснастку и инструмент. Кроме того, стандартизованы методы контроля и испытаний, а также требования к средствам измерений.

На *стадии эксплуатации* регламентируют требования и нормы по основным эксплуатационным характеристикам машин, устанавливают правила их работы (стандарты на системы технического обслуживания и ремонта), определяют единую систему информации о качестве эксплуатируемой продукции.

Стандартизация должна обеспечить создание оптимальной номенклатуры продукции машиностроения, которая в наибольшей степени

отвечает интересам потребителей. Для решения этой задачи используют системный подход, основой которого, как было отмечено, являются:

- унификация;
- взаимозаменяемость;
- агрегатирование;
- комплексная стандартизация;
- параметрическая стандартизация;
- опережающая стандартизация.

**Унификация** – это рациональное сокращение разнотипных элементов одинакового функционального назначения. Целью унификации является уменьшение неоправданного многообразия деталей (а также конструкций, технологических процессов, технической документации и др.) путем их преобразования в однотипные. Унификация состоит в многократном применении одинаковых элементов, что способствует сокращению номенклатуры деталей и уменьшению стоимости их изготовления, упрощению эксплуатации и ремонта машин, а также сокращению номенклатуры обрабатывающего, мерительного и монтажного инструмента. Унифицированными могут быть любые детали, сборочные единицы и узлы. К унифицированным элементам относятся посадки и качества, резьбовые, шпоночные и шлицевые соединения, крепеж, подшипники и т. д. Унификации подлежат материалы и инструмент, технологическая оснастка, методы испытания и контроля, документация, нормы, требования и обозначения. Например, посадочные сопряжения унифицируют по посадочным размерам, посадкам и точности размеров; резьбовые соединения – по диаметрам и типам резьб, посадкам и точности размеров, размерам под ключ; шпоночные и шлицевые соединения – по диаметрам, формам шпонок и шлицев, посадкам и точности размеров; зубчатые зацепления – по модулям, типам зубьев и точности размеров; фаски и галтели – по размерам и типам.

Унификация базируется на систематизации, селекции, симплификации, оптимизации и типизации.

*Систематизация* объектов предусматривает их расположение в заданном порядке, образующем четкую и удобную систему для пользователя. Разновидностью систематизации является классификация.

*Селекция* объектов стандартизации заключается в отборе конкретных объектов, признанных целесообразными для дальнейшего производства и применения.

*Симплификация* – это выявление объектов, которые нецелесообразно в дальнейшем использовать. Симплификация способствует упрощению производства за счет рационального ограничения марок и сортов материалов, сырья и комплектующих изделий, исключения излишних типоразмеров деталей, сборочных единиц и их элементов.

*Оптимизация* объектов стандартизации предполагает определение оптимальных значений главных параметров, а также показателей качества и экономичности. Целью оптимизации является достижение оптимальной степени упорядочения и максимально возможной эффективности по выбранному критерию.

*Типизация* объектов стандартизации направлена на создание типовых деталей, конструкций, технологических процессов, документов и др. В результате разрабатывают типовые формы конструкторских, технологических и эксплуатационных документов, альбомы типовых конструкций, перечни комплектующих изделий для готовой продукции, стандарты и технические условия.

Применение унификации позволяет существенно уменьшить количество конструкторской документации, а также значительно сократить сроки разработки изделий и объемы испытаний. Уменьшение общего числа различных типоразмеров при унификации составных частей конструкции обеспечивает увеличение серийности производства и снижение стоимости изготовления деталей. Она облегчает обслуживание и ремонт за счет сокращения номенклатуры инструмента и запасных частей.

Выделяют конструкторскую и технологическую унификации.

Для конструкторской унификации следует отметить следующие основные направления работ:

- 1) создание или выбор базовых конструкций машины на основе наиболее эффективных разработок;
- 2) использование унифицированных блочно-модульных конструкций;
- 3) реализация преемственности технических решений за счет заимствования узлов машины (из других конструкций или предшествующих разработок);
- 4) ограничение номенклатуры применяемых изделий и материалов.

Технологическая унификация связана с конструкторской и зависит от преемственности технологических процессов. Повышение уровня технологической унификации позволяет: во-первых, улучшить преемственность оборудования, оснастки и технологических процессов, что сокращает затраты на подготовку производственной базы для выпуска новых машин; во-вторых, создать типовую, универсальную, переналаживаемую и сборочную технологическую оснастку, что уменьшает количество объектов работ и ресурсных затрат; в-третьих, применить типовые технологические процессы, что способствует внедрению групповых форм организации труда, сокращению сроков и затрат на разработку необходимой технологической документации при подготовке производства машин.

Характерным примером использования методов стандартизации являются строительные одноковшовые гидравлические экскаваторы. Как

известно, их блочная конструкция в несколько раз сокращает сроки и трудоемкость монтажа экскаваторов и существенно повышает их ремонтпригодность.

Степень унификации зависит от назначения и конструкции деталей и узлов. По ряду узлов (двигатели внутреннего сгорания, электрические и гидравлические двигатели, гидроаппаратура и др.) унификация охватывает несколько соседних типоразмеров. По некоторым узлам (детали и элементы управления, колеса, пневмодвигатели и др.) унификация охватывает большую часть различных групп. При этом экскаваторы обладают универсальностью, которая достигается большим числом различных сменных элементов рабочих органов, ковшей, рукоятей, наголовников стрел и др. Благодаря этому производители изготавливают унифицированные ряды гидравлических экскаваторов, которые при наличии 10–12 базовых моделей имеют более 80 модификаций машин различного назначения. При этом количество деталей, необходимых для их выпуска, в 6–7 раз меньше числа деталей при индивидуальном производстве.

Примером унификации номенклатуры составных частей подвески ковша фронтального погрузчика является замена шарнирных узлов различного типоразмера на однотипные шарниры (рисунок 4.8). Увеличенная металлоемкость конструкции подвески будет компенсирована существенным уменьшением расходов на производство с увеличенным объемом выпуска однотипной продукции (требуется изготовить только одну партию одинаковых деталей на десять комплектов).

**Взаимозаменяемость** – это метод стандартизации, обеспечивающий сборку и эксплуатацию готовой продукции из независимо изготовленных деталей, модулей и агрегатов без нарушения требований к изделию в целом. Детали могут быть взаимозаменяемыми, если их параметры находятся в заданных пределах. Метод функциональной взаимозаменяемости определяет точность геометрических, физических и других параметров деталей и узлов на основе четко установленных связей между этими параметрами и эксплуатационными показателями. При этом предусматривается сборка изделий без предварительной подгонки смежных узлов и блоков с учетом системы допусков и посадок.

Агрегаты, изготовленные независимо друг от друга, должны обладать полной взаимозаменяемостью по всем присоединительным размерам и эксплуатационным показателям, просто и надежно собираться с помощью резьбовых, шлицевых и других соединений. Собранные по агрегатному принципу машины и оборудование должны быть прочными, надежными, долговечными и виброустойчивыми.

Взаимозаменяемость может быть полной и неполной, внешней и внутренней. Полная взаимозаменяемость характеризуется соблюдением параметров такой точности, которая допускает сборку и замену любых

сопрягаемых деталей и узлов без каких-либо дополнительных мероприятий (обработки, подбора или регулировки).

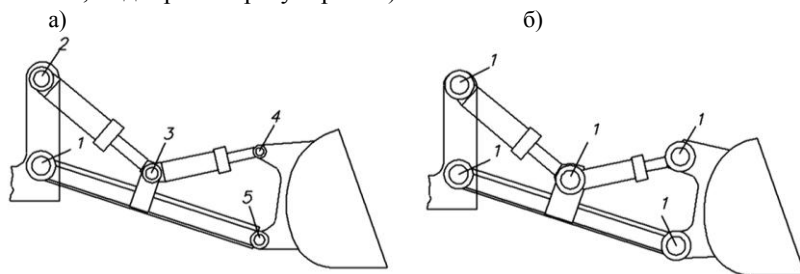


Рисунок 4.8 – Подвеска ковша фронтального погрузчика:  
а – до унификации шарнирных узлов; б – после унификации

Неполная (ограниченная) взаимозаменяемость обеспечивается при проведении дополнительных мероприятий при сборке, таких как групповой подбор деталей (селективная сборка), применение компенсаторов, регулировка положения или пригонка.

Внешней взаимозаменяемостью считают взаимозаменяемость покупных узлов между собой, а также с другими покупными узлами (по размерам и форме присоединения поверхностей, по эксплуатационным показателям).

Внутренней считают взаимозаменяемость деталей, составляющих отдельные сборочные единицы и механизмы машины.

Уровень взаимозаменяемости является показателем технического состояния производства и характеризуется коэффициентом, определяющим отношение трудоемкости изготовления взаимозаменяемых деталей и сборочных единиц к общей трудоемкости изготовления всех деталей и узлов.

**Агрегатирование** машин представляет собой метод конструирования машин и оборудования из унифицированных стандартных агрегатов (автономных узлов, устанавливаемых в изделия в различных комбинациях). Многие машины и оборудование могут быть разделены на несколько автономных агрегатов, которые выполняют в различных машинах одинаковые функции. Принцип агрегатирования имеет технологические (уменьшение времени на окончательную сборку машины) и эксплуатационные (ремонт машины заключается в замене неисправного агрегата) преимущества, несмотря на необходимость дополнительного объединяющего элемента, который усложняет конструкцию.

Одним из примеров агрегатирования может служить мобильное универсальное энергетическое средство УЭС-30 «Полесье» (ГСКБ ПО «Гомсельмаш»). Оно представляет собой пневмоколесный минитрактор мощностью 26,4 кВт (36 л.с.), который агрегируется посредством



монтажной плиты с легкоъемными адаптерами для широкого спектра земляных, дорожных, коммунальных и других работ. В их числе погрузочный ковш, обратная лопата, траншекопатель, вилочный погрузчик, снегоочистители плужный и роторный, уборочная машина и др. (более 20 адаптеров).

Для унификации систем машин и создания типоразмерных рядов и унифицированных семейств машин применяют *модуль конструирования*. Под модулем понимают унифицированную или стандартную сборочную единицу. Применение модульного принципа позволяет получить значительную экономию при создании новых машин за счет уменьшения объема работ и снижения их трудоемкости благодаря применению типовых технологических процессов, а при ремонте – за счет замены унифицированных элементов другими предварительно изготовленными. Каждый из модулей можно использовать на любой машине унифицированного семейства машин.

Одним из примеров агрегатирования является *метод агрегатно-модульной компоновки* машин. Машины выполняют в виде специализированных комплектов универсальных модулей, выпускающихся крупной серией и потому относительно дешевых. Агрегатно-модульная компоновка получила широкое распространение в машиностроении. Например, агрегатно-модульные станки и промышленные роботы, являющиеся основой технологических линий, могут быть перенастроены на выпуск новой продукции за очень короткое время.

Принципы унификации и агрегатирования позволяют на основе базовой модели создавать производные машины одинакового назначения, но с различными эксплуатационными показателями или машины различного назначения, выполняющие качественно другие операции.

***Комплексная стандартизация*** – это система взаимосвязанных требований к качеству готовых изделий и необходимых для их изготовления сырья, материалов, комплектующих узлов, а также к технологии производства и методом контроля. Поэтому, помимо разработки ГОСТа на конечный продукт, необходимо разработать стандарты на сырье, материалы, полуфабрикаты, узлы, комплектующие изделия, запасные части, вспомогательные материалы, а также на технологические процессы, технологическую оснастку, орудия производства, методы и средства измерений, испытания и контроля, упаковку, транспортировку, хранение, эксплуатацию и т.д.

Межотраслевые системы стандартизации (ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПП, СПКП – система показателей качества продукции и др.) являются специфической формой комплексной стандартизации. В частности, действующая с 1971 года ЕСКД устанавливает единые порядок и правила проектирования, выполнения и оформления чертежей, что обеспечивает упрощение

проектно-конструкторских работ, повышение качества и уровня взаимозаменяемости деталей и сборочных единиц машин. Стандарты ЕСКД способствуют взаимному обмену конструкторской документации между предприятиями без ее переоформления, расширению унификации при проектно-конструкторской разработке узлов и агрегатов машин.

Одним из направлений развития ЕСКД является создание автоматизированных систем управления. Автоматизация управления строительными и дорожными машинами обеспечивает эффективное и качественное выполнение технологических процессов, снижение психофизических нагрузок операторов и повышение производительности машин. Их применение в землеройно-транспортных и дорожных машинах обеспечивает курсовую устойчивость машины, стабилизацию позиционирования рабочих органов для обеспечения продольных и поперечных уклонов, заданную рабочую скорость машины и рабочего органа, оптимальную загрузку двигателя внутреннего сгорания при минимальном расходе топлива и др.

В настоящее время широкое распространение получили электронные системы управления в виде микропроцессоров, микроЭВМ, аналоговых вычислительных устройств, которые управляют частью операций машин и осуществляют контроль за работой различных узлов и агрегатов.

Одним из примеров комплексной стандартизации и широты охвата рассматриваемых задач может служить перечень стандартов на «Машины землеройные». В их числе ГОСТ 27247-87 «Метод определения тяговой характеристики»; ГОСТ 27248-87 «Метод определения центра тяжести»; ГОСТ 30678-2000 «Правила испытания двигателей. Полезная мощность»; ГОСТ 30697-2000 «Органы управления оператора»; ГОСТ ИСО 3449-2005 «Устройство защиты от падающих предметов», СТБ ЕН 474-1-2003 «Машины землеройные. Безопасность. Часть 1. Общие требования» и многие другие (всего более 40 стандартов).

**Параметрическая стандартизация** – это процесс стандартизации *параметрических рядов*, который заключается в выборе и обосновании целесообразной номенклатуры и численного значения параметров машин, их рабочих органов и агрегатов. Наиболее важными являются показатели, которые определяют назначение машины и условия использования:

- 1) размерные (например, габарит, длина, база, колея и т. п.);
- 2) массовые (грузоподъемность, масса машины и т. п.);
- 3) энергетические (мощность двигателя);
- 4) эксплуатационные, характеризующие производительность машин (местимость ковша, скорость движения и др.).

Рациональное сокращение номенклатуры изделий предполагает разработку стандартов на параметрические ряды, которые представляют

собой наборы установленных значений параметров. При выборе параметрических рядов опираются на следующие принципы:

- минимизация количества основных параметров;
- стабильность параметров при конструктивных модификациях;
- независимость от применяемых методик расчета, материалов и технологий.

Стандарты на параметрические ряды способствуют сокращению до целесообразного минимума конкретных типов моделей. Требования стандартов на параметрические ряды направлены на разработку технически более совершенных и производительных машин.

Одним из важных принципов параметрической стандартизации является принцип предпочтительности, в соответствии с которым размеры конструкций должны совпадать с членами одного из рядов предпочтительных чисел. Наиболее удобными являются геометрические прогрессии. Основным стандартом в этой области является ГОСТ 8032 «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел», который, в свою очередь, является базовым для ГОСТ 6636 «Нормальные линейные размеры», устанавливающего ряды чисел для выбора линейных размеров. Достоинством применения системы предпочтительных чисел является сокращение параметров однотипной продукции.

Разновидностью параметрического ряда является *типоразмерный ряд*, главным параметром которого является размер изделия. На основе типоразмерных рядов создают конструктивные ряды моделей машин (или узлов) одинаковой конструкции. При этом параметрический ряд должен содержать самое выгодное число типоразмеров изделий при минимальных затратах на их производство. Показательным примером типоразмерного ряда могут служить строительные одноковшовые экскаваторы. Этот ряд был разработан (еще в СССР) на основе анализа конструкций экскаваторов ведущих производителей этой продукции. Главным параметром ряда является вместимость ковша экскаваторов, по которой выделено 8 типоразмерных групп, охватывающих диапазон от 0,15 до 6,3 м<sup>3</sup>.

Многообразие условий эксплуатации и режимов работы строительных, дорожных и других машин создают потребность в увеличении количества типоразмеров и конструктивных исполнений машин. Тенденция расширения спектра главных параметров (как в сторону минимизации, так и в сторону их увеличения) и роста числа моделей вызвана тем, что потребителю выгодно использовать на каждом конкретном объекте оптимальный типоразмер машины с необходимым видом рабочего оборудования. Рост числа моделей и типоразмеров машин обуславливает необходимость создания целесообразного разнообразия машин при минимальных затратах на их производство, к унификации и специализации.

Например, для удовлетворения потребностей рынка строительных, дорожных и коммунальных машин на Минском тракторном заводе освоен

выпуск универсальных транспортных шасси Ш-406, на базе которых создан широкий модельный ряд машин различного назначения (для летнего и зимнего содержания дорог, для очистки и мойки тоннелей и защитных дорожных экранов, с комбинированным пневмоколесно-рельсовым ходом и др.).

**Опережающая стандартизация** – это стандартизация, устанавливающая повышенные по отношению к существующему уровню норм требования к объектам стандартизации, которые согласно прогнозам будут оптимальными в последующее планируемое время.

Обязательным признаком этого вида стандартизации является опережение по времени производства, которое может относиться как к изделию в целом, так и к наиболее важным параметрам и показателям его качества, методам и средствам производства, испытания и контроля.

Объектами опережающей стандартизации являются важнейшие виды продукции и процессы (нормы, правила, характеристики, требования), параметры которых могут изменяться в течение срока действия стандартов. Показатели качества должны быть оптимальными в планируемом промежутке времени, т.е. такими, при которых заданная цель достигается с минимальными затратами и обеспечивается максимальный технико-экономический эффект в комплексе при проектировании, производстве и эксплуатации изделий.

Научно-техническая база опирается на результаты фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований, на новые технические решения (изобретения), которые приняты к реализации, а также на методы оптимизации параметров машиностроительной продукции с учетом прогноза потребностей в данной продукции.

Опережающая стандартизация представляет собой непрерывный процесс, т.е. после ввода в действие опережающего стандарта разрабатывают новый стандарт. При этом количество показателей новой продукции и требований к ней, как правило, ограничивается ее главными характеристиками, определяющими технический уровень и качество.

Опережающие стандарты выполняют в виде ступенчатых стандартов, которые устанавливают нормы и требования к продукции в виде ступеней во времени с поэтапными сроками введения. В этих стандартах устанавливают три ступени уровня качества продукции, дифференцированные по времени в зависимости от степени подготовленности производства. На первой ступени устанавливают требования к ранее освоенной продукции, на второй – ко вновь разрабатываемой, на третьей ступени устанавливают мировой уровень перспективных требований, которым должна соответствовать продукция.

Таким образом, расширенное применение стандартных узлов и деталей, максимальная унификация элементов конструкций, реализация принципов

агрегатирования и блочно-модульной компоновки основных узлов и механизмов машин, развитие различных видов стандартизации являются неизменным условием ресурсосбережения.

#### 4.5 Информационное обеспечение жизненного цикла

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 осуществляются в рамках Государственной научно-технической программы «*CALS*-технологии» (с 2006 года). В числе ее 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, внедряются на основных машиностроительных предприятиях Беларуси (Амкодор, МТЗ, МАЗ, БелАЗ и др.). Во взаимоотношениях между ведущими предприятиями становится 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 должны соблюдать 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.

Важным информационным фактором, обеспечивающим повышение эффективности эксплуатации строительных и дорожных машин, является *контроль за местом нахождения и работой машин*. В ряде стран налажена радионавигационная система для определения места нахождения машины. Наличие радиосвязи между диспетчерским пунктом и машиной позволяет оперативно реагировать на непредвиденные обстоятельства. Кроме того, наличие комплекта датчиков контроля за работой машины, бортового компьютера и аппаратно-программных средств обеспечения позволяет записывать и затем анализировать всю статистическую информацию об эффективности эксплуатации машины. Например, в России успешно эксплуатируется радионавигационная система «Дорожник» для обеспечения

эффективной уборки городских улиц Москвы.

При разработке автоматизированных радионавигационных систем контроль и слежение за машинами для земляных работ и другими подвижными объектами существенно улучшается за счет комплексного использования спутниковых навигационных систем. В настоящее время функционируют следующие системы навигации: в США – *GPS (Global Positioning System)*, в России – Глонасс (Глобальная навигационная спутниковая система), в Евросоюзе – *Galileo*.

В США и Японии развивается широкомасштабное освоение системы *GPS* для проведения землеройных, профилировочных и уплотнительных работ с помощью специализированных машин. Управление машинами для земляных работ (автогрейдером, бульдозерами, скреперами, катками, экскаваторами) с использованием *GPS* обеспечивает оптимизацию и ускорение технологических процессов (резания, копания, уплотнения и др.) за счет точного позиционирования рабочего органа и машины в целом в любой момент времени. При этом обеспечиваются стабильность и точность курсовой устойчивости машины в соответствии с проектными требованиями.

Технологии производства земляных работ с использованием *GPS* базируются на трех системах:

- а) спутниковом комплексе;
- б) наземном комплексе слежения за спутниками;
- в) комплексе оборудования производителя работ (т. е. машины с установленными на ней антеннами и приемником-накопителем информации – ресивером). Как правило, ресивер монтируется на машине, а антенна – на рабочем органе (с присоединением к ресиверу с помощью кабеля).

Основой технологии *GPS* является система спутников, перемещающихся в космическом пространстве по заданным орбитам. Передавая радиосигналы, спутники сканируют заданный район и находят нужный объект на местности.

За спутниковым комплексом *GPS* идет непрерывное слежение несколькими земными радарными станциями США.

Работа ресивера накопительного блока станции сводится к определению траектории движения машины в трехмерной системе координат. Определяются координаты позиционирования в режиме реального времени, при этом в его памяти сохраняется вся необходимая информация со всех спутников системы, которая позволяет определить, где и в какое время находится машина. Компьютер в кабине машины сравнивает локационную информацию ресивера с рабочей документацией проекта по карте данных и с информацией о фактических координатах машины. При необходимости посредством имеющегося интерфейса (электроника–гидравлика) осуществляется изменение положения рабочего органа в соответствии с требованиями проекта.

Применение системы *GPS* существенно ускоряет производство земляных работ, а также значительно сокращает число машин по сравнению с традиционными технологиями.

#### **4.6 Утилизация машин и рециклинг материалов**

Утилизация как заключительный этап полного жизненного цикла машин предполагает разборку машины, сортировку материалов, деталей и конструкций, дефектацию деталей и конструкций, а также последующую переработку пригодных для этого материалов. Отметим очень жесткие требования по эффективности утилизации машин в цивилизованном мире. В Евросоюзе с 2015 года машины должны утилизироваться не менее чем на 95 мас. % путем рециклинга материалов и повторного использования отдельных деталей либо сжиганием отходов (с регенерацией энергии). При этом на повторное использование должно идти не менее 85 % массы машины. О масштабах утилизации можно судить по ежегодному выпуску машин в мире, который составляет около 50 млн единиц техники.

В этой сфере помимо русскоязычных терминов «переработка вторичного сырья» или «вторичная переработка отходов» часто используют термины «утилизация» (от лат. *utilis* – полезный, *utilitas* – польза) отходов, а также одинаковые по смыслу «ресайклинг» или «рециклинг» (от англ. *recycling, to recycle* – переработать), которые также обозначают переработку и повторное использование отходов. В дальнейшем будем использовать термин «рециклинг» со всеми его производными.

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

*Рециклируемым* называют материал, который частично или полностью может быть использован в качестве вторичного сырья.

*Рециклированным* называют материал, который частично или полностью состоит из вторично использованного сырья (менее благозвучное определение этого материала – *рециклят*).

Необходимость утилизации машин, особенно автотранспортных средств, связана с загрязнением окружающей среды (почвы, воды, воздуха) и, в конечном счете, с экологической безопасностью. Зарубежный опыт показывает, что отсутствие системного подхода к организации сбора и переработки вторичных ресурсов транспортного комплекса влечет за собой экологические и экономические проблемы. О масштабах этих проблем свидетельствуют следующие цифры: мировой парк только легковых автомобилей превышает 600 млн единиц при ежегодном выводе из эксплуатации 40–50 млн машин.

Следует отметить, что в настоящее время имеются три основных направления утилизации отходов: захоронение, сжигание и переработка.



Выбор и реализация технологии утилизации отходов зависят от уровня развития предприятий по выпуску машиностроительной продукции и сопутствующих им производств по переработке отходов.

Как было отмечено, эффективность утилизации машины по окончании срока ее эксплуатации является основой всех мероприятий по обеспечению ресурсосбережения и экологической безопасности на всех этапах жизненного цикла. На этапе проектирования и конструирования разрабатывают блочно-модульные системы для упрощения разборки и замены узлов с повторным использованием отдельных узлов машины после их восстановления; komponуют конструкцию для удобного разделения различных по природе материалов; подбирают материалы, не требующие дополнительной обработки поверхности деталей; планируют применение рециклированных и рециклируемых материалов; разрабатывают дизайн машины, учитывающий влияние на окружающую среду. На этапе изготовления используют переработанные материалы, совершенствуют технологические процессы изготовления деталей с целью минимизации образования отходов и их повторного использования. На этапе эксплуатации руководствуются требованиями отечественных и международных стандартов по безопасной эксплуатации машин и охране окружающей среды. На этапе списания и утилизации разрабатывают и внедряют систему сбора и переработки списанных машин, а также рециклинг материалов.

Ликвидационная стоимость машины (т.е. 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, необходимо выбрать такие компоненты, составы и технологию переработки, чтобы стоимость изделий из вторичного продукта не превышала стоимости изделий из первичных материалов.

Переработка вторичного сырья обеспечивает значительное сокращение материальных, энергетических и трудовых затрат на производство продукции машиностроения. Во многих странах сформирована самостоятельная и очень эффективная отрасль промышленности, располагающая наукоемкими технологиями и прогрессивным оборудованием, – переработка отходов производства и потребления. Предприятия по переработке вторичного сырья располагают оборудованием для оценки пригодности для рециклирования материалов, методами и средствами для идентификации и рассортировки материалов, а также основным оборудованием для экологически безопасной переработки

вторичного сырья. Организация и развитие производства по промышленной переработке вторсырья черных, цветных и редких металлов является весьма актуальной задачей для Беларуси, вследствие развитой инфраструктуры различных отраслей машиностроения, требующих экспорта многих металлов и сплавов.

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 изделия (детали, узлы и конструкции машин) и материалы (использованные для отделки машин), частично или полностью утратившие свои потребительские свойства в результате физического старения. Вполне очевидно, что наибольший интерес для нас представляют отходы потребления, т.е. списанные машины и оборудование. Их детали, узлы и агрегаты классифицируют на две основные группы:

- изделия из металлических (черных металлов и сплавов, цветных металлов и сплавов) материалов;
- изделия из неметаллических (органических и неорганических) материалов.

Утилизация автотранспортных средств, строительной и дорожной техники имеет существенные отличия, которые зависят от особенностей конструкции и типоразмера машины. В общем случае утилизация включает следующие этапы:

- демонтаж всех съемных деталей и комплектующих, в том числе экологически опасных компонентов;
- сортировка снятых деталей по степени износа (годные к дальнейшему употреблению в виде запасных частей, годные к восстановлению и годные к утилизации);
- извлечение старых аккумуляторов для рециклинга;
- демонтаж старых шин для переработки;
- извлечение токсичных и взрывоопасных жидкостей;
- демонтаж и утилизация деталей из полимеров и композитов на их основе;
- дробление оставшихся корпусных, каркасных и других крупногабаритных элементов;
- сортировка материалов по группам: черные и цветные металлы, легкие неметаллические отходы (пластмассы, резина, стекло, керамика, дерево, картон, текстиль и др.) и шины;
- переплавка металла для получения очищенного сырья;
- переработка неметаллических отходов и шин.

В современной среднестатистической продукции машиностроения (машине) доля металлов и сплавов превышает 60–70 % ее конструктивной

массы, доля полимерных материалов составляет 10–20 мас. % (включая шины пневмоколесного ходового оборудования) и все более увеличивается за счет замены металлов. Например, в автомобиле фирмы «Volkswagen» (массой 1200 кг) более половины его массы приходится на долю черных металлов и сплавов, на долю цветных металлов и легких сплавов – 170 кг, полимерных материалов – более 120, резины – 90, стекла – 50 кг. Из цветных металлов и сплавов следует отметить алюминий (в моторном блоке, головках цилиндров, корпусе коробки передач и др.), латунь (в радиаторе, водяном насосе, системе отопления и др.), медь (в стартере, генераторе, катушке зажигания, в электромоторах вентилятора, стеклоочистителя и др.), цинк (в корпусах навесных деталей двигателя, ручках и рукоятках, деталях замков и др.).

Материалы списанных металлоизделий (деталей и конструкций машин) – это наиболее ценные виды отходов, поскольку являются конечным продуктом металлургических процессов. Более того, по экспертным оценкам утилизация и рециклинг одной среднестатистической машины сберегает 1200 кг руды и 600 кг угля.

Вторичное сырье разделяют на *черные, цветные и редкие металлы*.

Технологический процесс переработки любого металлолома состоит из двух основных этапов: дометаллургической подготовки сырья и металлургического передела. При этом часть металлов (например, покрытия) рассеивается по технологическим причинам. На этапе подготовки сырья производится сортировка лома по классам и группам, что в дальнейшем упрощает выплавку сплава нужного химического состава. В соответствии с этим на втором этапе выбирают технологию плавки и плавильное оборудование для ее осуществления.

По форме потребления металлов различают чистые металлы, сплавы и химические соединения. Чистые металлы в основном используют в качестве покрытий различного назначения, а сплавы представляют собой основную форму производственного потребления. Переработка и использования черного металлолома на порядок снижает энерго- и трудозатраты производства стали по сравнению с получением металла из руды. В настоящее время подавляющее количество стали и других металлов перерабатывается из вторсырья.

Утилизация металлического вторсырья направлена на получение металлов и сплавов, не уступающих по свойствам первичным материалам, а также на производство деталей и конструкций машин. Об уровне переработки вторсырья во многих странах свидетельствует следующий факт: алюминиевые сплавы из переработанных отходов не уступают по качеству первичным аналогам. При этом переработка металлических отходов может производиться многократно без существенного ухудшения потребительских свойств изделий из них.

Утилизация полимерного вторсырья является значительно более сложным процессом, поскольку в каждой единице техники применяют до десяти различных полимеров, каждый из которых требует своего подхода к переработке.

Полимерные материалы, которые используют для изготовления деталей машин, классифицируют по следующим основным признакам:

- 1) *по типу полимерной матрицы* – термопластичные и терморезактивные;
- 2) *по наличию наполнителей* – армированные и неармированные;
- 3) *по методу переработки* – сжигание для получения энергии, разложение до мономеров путем пиролиза, переработка в материалы и изделия.

Полимерные отходы потребления (вторичное полимерное сырье) формируют из деталей и конструкций машин, изготовленных из полимерных материалов. В машиностроении, в том числе в автотранспортных средствах, используют как *термопластичные*, так и *терморезактивные полимеры*.

Из *термопластичных полимеров* наибольшее применение находят термопласты общетехнического назначения (полиэтилен, полипропилен, полиэтилентерефталат, поливинилхлорид, полиуретан и др.) и конструкционные (алифатический полиамид, поликарбонат, полисульфон и др.), а также композиционные материалы на их основе. Спектр деталей и конструкций из полимеров и композитов на их основе весьма широк. В их числе такие изделия, как крупногабаритные детали внешнего и внутреннего интерьера (багажники, бамперы, внутренние панели дверей и крыш, дверные модули), топливные баки и баки для различных рабочих жидкостей, корпусные и каркасные детали системы отопления.

*Терморезактивные полимеры* (ненасыщенные сложные полиэферы, эпоксидные, феноло-, аминоформальдегидные и кремнийорганические смолы) используют в качестве матриц композитов на основе стекловолоконных наполнителей. Из них изготавливают корпуса и кожухи для фильтров, насосов и моторов, кузовные наружные панели (бамперы, капоты, багажники, спойлеры, обтекатели, пороги, двери и др.). Как уже было отмечено ранее, все шире используют композиты на основе углеволоконных армирующих наполнителей, которые существенно снижают массу автотранспортных средств. В числе изделий из углепластиков – крупногабаритные элементы внешнего интерьера, элементы тормозных систем, клапаны газораспределительных механизмов и др.

Выбор метода переработки зависит от природы полимерной матрицы и наличия армирующих компонентов. На полимерные детали, которые поддаются переработке, наносят специальную маркировку.

Самым простым, но малоэффективным и экологически небезопасным является способ сжигания полимерных отходов для получения энергии. Его используют в тех случаях, когда переработка другими способами невозможна или нерентабельна.

Преобразование отходов путем их разложения до мономеров при помощи пиролиза приводит к образованию низкомолекулярных (жидких или газообразных) соединений с их последующим использованием. Этот способ требует специального оборудования и значительных энергетических и трудовых затрат. Его обычно используют для переработки полимерных смесей, когда не представляется возможным выделить отдельный полимер с достаточно высоким уровнем потребительских свойств.

Переработка полимерного вторсырья в материалы и изделия базируется на механическом рециклинге (т.е. на дроблении отходов) и дальнейших операциях в зависимости от природы и состава полимера.

Вторичная переработка изделий из термореактивных материалов обусловлена спецификой «сшитой» структуры их макромолекул, вследствие чего реактопласты не плавятся и не растворяются в органических растворителях. Поэтому их переработка включает механическое дробление и последующее использование полученных полуфабрикатов в качестве наполнителей материалов для малоответственных изделий или продукции пониженного качества, не связанных с машиностроением. Если такая переработка материалов является экономически невыгодной, их захоранивают или сжигают для извлечения энергии как побочного продукта.

Вторичная переработка термопластичных полимеров включает механический рециклинг, модифицирование (введение технологических и эксплуатационных добавок) и гранулирование. Переработка термопластов в изделия для использования в машиностроении пока не выходит за рамки лабораторных исследований или мелкосерийного производства. Такие вторичные технические термопласты, как полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полиэтилентерефталат и др. находят применение в качестве запасных частей для автотранспортных средств и строительных машин. Например, вторичный полиэтилен высокой плотности используют в стандартной шестислойной конструкции автомобильного топливного бака в качестве промежуточного слоя, не контактирующего с топливом. Из вторичного полипропилена изготавливают колпаки колес, бамперы и обтекатели, щитки и приборные панели, элементы системы кондиционирования воздуха и воздухопроводов, а также корпуса аккумуляторных батарей, из вторичного поливинилхлорида – брызговики. Вторичные полиэтилентерефталат, полипропилен и полиамид используют для производства ворса (толщиной до 2 мм) для рабочего оборудования (цилиндрических и лотковых щеток) подметально-уборочных машин.

Таким образом, рециклирование полимерных отходов и особенно отходов композиционных материалов на полимерной матрице пока не позволяет получать изделия из них с высоким уровнем эксплуатационных свойств и использовать их по прежнему назначению. В большинстве случаев рециклированные полимерные отходы применяют для изготовления мало ответственных изделий, не связанных с машиностроением.

Металлы и сплавы, из которых изготавливают детали и конструкции машин, – это полностью рециклируемые материалы. Кроме того, практически все металлоизделия (из черных металлов и сплавов) машин получены из рециклированных материалов, поскольку вторичная переработка металлоотходов потребления, сформированных в результате физического изнашивания или старения элементов машин, является обязательным звеном технологического процесса производства стали.

В Беларуси с 2012 г. функционирует Указ президента № 348 от 09.08.2011 «О мерах по организации сбора, хранения неэксплуатируемых транспортных средств и их последующей утилизации», в котором предусмотрен порядок сдачи на утилизацию автотранспортных средств. В настоящее время отечественная программа утилизации транспорта находится в стадии становления и 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.

Беларусь располагает развитой инфраструктурой машиностроения, включая автомобилестроение, тракторостроение, производство строительных и дорожных машин. Соответственно, 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 утилизируются детали и конструкции из черных металлов и сплавов, лом которых перерабатывают на Белорусском металлургическом заводе. Переработка цветных металлов 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. Ведутся также исследовательские работы по переработке и применению вторичных полимерных материалов.

Спектр современных направлений ресурсосбережения не ограничивается приведенными в разделе сведениями, а постоянно расширяется.

Современное состояние отечественного машиностроения в области строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин характеризуется необходимостью существенного роста качества и потребительских свойств

машин. Решение этих задач, а также проблем, связанных с ресурсосбережением и экологической безопасностью, отражено в планах отечественной концепции развития науки и техники. Во всех областях науки, отвечающих за создание конкурентоспособной мобильной техники, намечены важные организационные, конструкторские, технологические мероприятия, способствующие решению этих проблем.

## Список литературы

- 1 Автомобильные дороги Беларуси : энциклопедия / под общей ред. А.В.Минина. – Мн. : БелЭн, 2002. – 672 с.
- 2 **Баловнев, В. И.** Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог / В. И. Баловнев, В. И. Мещеряков, М. А. Беляев. – Москва – Омск : ОАО «Омский дом печати», 2005. – 768 с.
- 3 **Баловнев, В. И.** Многоцелевые дорожно-строительные и технологические машины / В. И. Баловнев. – Омск-Москва : ОАО «Омский дом печати», 2006. – 320 с.
- 4 **Беркман, И. Л.** Одноковшовые строительные экскаваторы / И. Л. Беркман, А. В. Раннев, А. К. Рейш. – М. : Высшая школа, 1986. – 272 с.
- 5 **Добронравов, С. С.** Строительные машины и основы автоматизации / С. С. Добронравов, В.Г.Дронов. – М. : Высшая школа, 2003. – 575 с.
- 6 **Добронравов, С. С.** Строительные машины и оборудование: справ. / С. С. Добронравов, М. С. Добронравов. – М. : Высшая школа, 2006. – 445 с.
- 7 **Довгяло, В. А.** Дорожно-строительные машины. В 2 ч. / В. А. Довгяло, Д. И. Бочкарев. – Ч. I: Машины для земляных работ. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 250 с.; Ч. II: Машины для устройства и ремонта дорожных покрытий. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 385 с.
- 8 Дорожно-строительные машины и комплексы / В. И. Баловнев [и др.]. – Москва – Омск : Изд-во СибАДИ, 2001. – 528 с.
- 9 Дорожно-строительные машины / А. В. Вавилов [и др.]. – Мн. : Технопринт, 2000. – 515 с.
- 10 Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет / под ред. Н. Я. Хархуты. – М. : Машиностроение, 1976. – 468 с.
- 11 **Доценко, А.И.** Строительные машины / А.И.Доценко, В. Г. Дронов. М. : ИНФРА-М, 2012. - 533 с.
- 12 **Карабан, Г. Л.** Машины для содержания и ремонта автомобильных дорог и аэродромов / Г. Л. Карабан, В. И. Баловнев, И. А. Засов. – М. : Машиностроение, 1975. – 368 с.
- 13 Машиностроение: энциклопедия. / Ред. совет: К. В. Фролов [и др.]. - М. : Машиностроение. Строительные, дорожные и коммунальные машины. Оборудование для производства строительных материалов. - Т. 1V-9/ И. П. Ксеневич [и др.]; под общ. ред. И. П. Ксеневича. – 2005. - 736 с.
- 14 Машины для земляных работ: А. И. Доценко, Г. Н. Карасев, Г. В. Кустарев, К. К. Шестопалов. – М. «Издат. дом «БАСТЕТ», 2012. – 688 с.
- 15 **Раннев, А. В.** Устройство и эксплуатация дорожно-строительных машин / А. В. Раннев, М. Д. Полосин. – М. : Издат. центр «Академия», 2010. – 488 с.
- 16 Справочник конструктора дорожных машин / под ред. И. П. Бородачева – М. : Машиностроение, 1973. – 503 с.
- 17 Теория, конструкция и расчет строительных и дорожных машин / под ред. Л. А. Гоbermana. – М. : Машиностроение, 1988. – 407 с.
- 18 **Тюрин, Н. А.** Дорожно-строительные материалы и машины / Н. А. Тюрин, Г. А. Бессараб, В. Н. Язов. – М. : Академия, 2009. – 304 с.



19 **Шестопапов, К. К.** Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование / К. К. Шестопапов. – М. : Академия, 2012. – 320 с.

20 **Шестопапов, К.К.** Строительные и дорожные машины / К. К. Шестопапов. – М. : Академия, 2008. – 384 с.

Учебное издание

*ДОВГЯЛО Владимир Александрович*

**Машины и оборудования для содержания автомобильных дорог**

Учебное пособие

Редактор

Технический редактор

Корректор

Компьютерный набор и верстка

Подписано в печать .....г. Формат 60x84  $\frac{1}{16}$ .

Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.

Усл. печ. л. .... Уч.-изд. л. .... Тираж 200 экз.

Зак. № ..... Изд. № ...

Издатель и полиграфическое исполнение

Белорусский государственный университет транспорта:

ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.

ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.

246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.