МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Детали машин, путевые и строительные машины»

В. А. ДОВГЯЛО, Д. И. БОЧКАРЕВ

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Часть II

МАШИНЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВА И РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Гомель 2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Детали машин, путевые и строительные машины»

В. А. ДОВГЯЛО, Д. И. БОЧКАРЕВ

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Часть II

МАШИНЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВА И РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

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

Гомель 2014

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

Р е ц е н з е н т ы: зав. кафедрой «Тракторы» Белорусского национального технического университета доктор технических наук, профессор *В. П. Бойков;*
кафедра «Строительные, дорожные, подъемно-транспортные машины и оборудование» Белорусско-Российского университета (зав. кафедрой кандидат технических наук, доцент И. В. Лесковец)

Довгяло, В. А.

Д58 Дорожно-строительные машины. В 2 ч. Ч. II. Машины для устройства и ремонта дорожных покрытий : учеб. пособие / В. А. Довгяло, Д. И. Бочкарев ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 385 с.
ISBN 978-985-554-313-9 (ч. II)

Представлены сведения о дорожной одежде автомобильных дорог Беларуси. Рассмотрены машины для традиционных технологических процессов строительства и ремонта дорожной одежды на основе асфальто- и цементобетонных смесей, а также для реализации новых технологий устройства и ремонта дорожных покрытий. Приведены их технические характеристики, конструкции, рабочие органы, приводы, узлы и агрегаты. Рассмотрены машины и оборудование для производства асфальтобетонных смесей и битумных эмульсий, а также для устройства облегченных и переходных покрытий. Для каждого типа машин приведены методики расчета основных параметров. Рассмотрены ресурсосберегающие направления развития дорожно-строительных машин.

Предназначено для студентов специальностей 1-37 02 03 «Техническая эксплуатация погрузочно-разгрузочных, путевых, дорожно-строительных машин и оборудования» и 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» дневной и заочной форм обучения, а также магистрантов и специалистов дорожно-строительного комплекса.

УДК 625.08 (075.8)
ББК 39.311-06-5

ISBN 978-985-468-740-7
ISBN 978-985-554-313-9 (ч. II)

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Роль транспортного комплекса в социально-экономическом развитии Беларуси трудно переоценить (его удельный вес в ВВП республики составляет более 8 %). Страна располагает достаточно развитой инфраструктурой автомобильных дорог. В частности, по показателю соотношения длины автомобильных дорог к площади территории мы приближаемся к наиболее развитым в экономическом отношении странам Европы. Однако качество наших дорог не всегда соответствует европейским нормам. Технико-эксплуатационные характеристики отечественной дорожной сети, в частности ровность покрытия автодорог, приводят к удорожанию перевозок на 30–40 %, увеличению расхода горючего почти в 1,5 раза и сокращению срока службы автотранспортных средств на треть по сравнению со странами Центральной и Восточной Европы. В результате общая сумма годовых потерь народного хозяйства, связанных с технико-эксплуатационным состоянием отечественных автомобильных дорог, составляет более 150 млн долларов США. Между тем республика располагается на пересечении трансконтинентальных автомобильных магистралей и улучшение состояния дорог может способствовать увеличению товарооборота между Европой и Азией и, как следствие, экономическому росту и повышению уровня жизни в стране.

Отечественные дорожно-строительные организации проводят обширные работы по реконструкции, ремонту и восстановлению наших автомобильных дорог. Для этих целей используют современные технологии, базирующиеся на комплексной механизации основных и вспомогательных работ по строительству и ремонту дорог, которые выполняют машинами и механизмами. Наиболее высокую эффективность работ, сочетающую заданный темп, необходимое качество и минимальную стоимость, обеспечивают комплекты и комплексы дорожных машин, которые представляют собой совокупности взаимосвязанных машин. Если комплект машин занят на отдельной самостоятельной технологической операции, то комплексом машин можно выполнить весь технологический процесс строительства, реконструкции или ремонта дороги.

Как правило, дорожно-строительные организации имеют машины отечественного и импортного производства, нередко обладающие различным

уровнем автоматизации и роботизации, что затрудняет подбор состава машин для выполнения ответственных операций дорожного строительства. Кроме того, следует учитывать различия их технических, эксплуатационных и технологических возможностей.

Материал учебного пособия позволяет получить необходимые сведения о дорожно-строительных машинах, которые эксплуатируются в республике, включая их технические и эксплуатационные характеристики, особенности конструкции и расчетов основных параметров.

В первой книге пособия по дорожно-строительным машинам «Машины для земляных работ» [17] были рассмотрены землеройные и землеройно-транспортные машины, машины для подготовительных работ и уплотнения грунта, которые используют в Беларуси при подготовке земляного полотна для последующего строительства автомобильных дорог.

В данной книге (второй части пособия) представлены машины и оборудование для устройства и ремонта дорожной одежды автомобильных дорог с асфальто- и цементобетонными покрытиями. Основное внимание уделено дорогам с асфальтобетонным покрытием, составляющим более 95 % от общей протяженности автомобильных дорог Беларуси с твердым покрытием.

В пособии рассмотрены машины для традиционных технологических процессов строительства дорожной одежды на основе асфальто- и цементобетонных смесей, а также машины для реализации новых технологий устройства дорожных покрытий. Кроме того, приведено описание машин для строительства облегченных и переходных дорожных покрытий с использованием битумных эмульсий, а также машин и оборудования для текущего, среднего и капитального ремонта асфальтобетонных покрытий. Значительное внимание уделено машинам и оборудованию для восстановления покрытий методами горячего и холодного рециклинга.

Отдельно представлена информация об автоматизации дорожно-строительных машин, выпускаемых на территории СНГ. При этом особенности автоматизации отдельных групп упомянутых машин приведены в соответствующих разделах.

Экологическая безопасность в сочетании с ресурсосбережением является решающим фактором выбора технологии дорожного строительства и машин для ее реализации в нашей стране, а также в странах Евросоюза и экономически развитых странах Азии и Америки. Поэтому в пособии показаны наиболее значимые, на наш взгляд, ресурсосберегающие направления развития дорожно-строительной техники.

Для упрощения поиска и выбора необходимых машин для строительных, дорожных, земляных и других работ используют их индексацию. В Беларуси, как и на территории СНГ, в основном пользуются традиционной индексацией, унаследованной от СССР. Индекс машины включает буквенную и цифровую части.

Буквенная часть индекса обозначает подгруппу или вид машины. Так, машины для земляных работ разделяют на несколько подгрупп, имеющих следующие буквенные обозначения: ЭО – строительные ***о***дноковшовые ***э***кскаваторы, ЭТЦ – ***э***кскаваторы ***т***раншейные ***ц***епные, ЭТР – ***э***кскаваторы ***т***раншейные ***р***оторные, ДЗ – ***з***емлеройно-транспортные машины, ДУ – машины для ***у***плотнения грунтов и дорожно-строительных материалов, ДП − машины для ***п***одготовительных работ и разработки мерзлых грунтов. Машины для строительства и содержания дорожной одежды автомобильных дорог разделяют на две подгруппы: машины для ***с***троительства и реконструкции покрытий автомобильных дорог – ДС, машины для ***э***ксплуатации, содержания и ремонта автомобильных дорог – ДЭ. Как видно из приведенного, в этом абзаце в базовых словах, определяющих индекс машины, выделены буквы, которые являются ключевыми для обозначения ее назначения. К сожалению, цифровая часть индекса, как правило, не дает представления о технических характеристиках машины, за исключением одно- и многоковшовых экскаваторов.

Авторы надеются, что учебное пособие поможет студентам и магистрантам получить достаточно емкую информацию о технических возможностях дорожно-строительных машин и оборудования, чтобы оптимально их использовать в условиях комплексной механизации дорожных работ с учетом необходимости ресурсосбережения при строительстве, ремонте и реконструкции автомобильных дорог.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

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

1.1 Из истории строительства автомобильных дорог

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

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

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

ком). Следует отметить, что техника каменного мощения (брукование) дожила до XX века.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

В XIX веке были предприняты попытки повысить связность щебеночных покрытий за счет вяжущих материалов. Технологию асфальтовых покрытий начали использовать только в 1829 г., хотя месторождения асфальтовых горных пород (известняков и песчаников, пропитанных битумом) были открыты в Швейцарии еще в 1721 г. Покрытия из трамбованного и

укатанного асфальта начали применять на улицах больших городов. В Париже первые покрытия появились в 1854 г., в Лондоне – в 1869 г., в Берлине – в 1877 г., в США – в 1871 г. В Российской империи месторождения природных асфальтов были открыты и начали разрабатываться позднее, поэтому первые попытки устройства усовершенствованных покрытий были связаны с каменноугольным дегтем, которым пропитывали щебеночные покрытия.

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

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

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

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

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

стали интенсивно применять для устройства дорог низших категорий с гравийными покрытиями методом смешения компонентов на дороге.

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

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

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

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

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

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

Первые сведения о механизации дорожных работ связывают с появлением грейдера. Первый патент на конный четырехколесный автогрейдер был выдан в 1795 г. в США изобретателю Р. Фултону. В 70-х годах XIX столетия американцы создали несколько моделей конных грейдеров с деревянной рамой и рычажным управлением, а уже в 80-х годах появились модели с реверсивным ножом и штурвальным управлением, с наклонной установкой колес и рессорной подвеской. К началу XX столетия грейдеры были переведены на трактор-

ную тягу, а в 1924 г. в США был создан первый самоходный автогрейдер.

В царской России в начале XX столетия преобладали грейдеры на конной тяге. В СССР в годы первой пятилетки было выпущено более 3500 легких и средних прицепных грейдеров, а в 1948 г. был выпущен первый советский трехосный самоходный автогрейдер.

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

1.2 Классификация автомобильных дорог. Дороги Беларуси

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

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

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

Географическое расположение Беларуси – в центре Европы между странами Запада и Востока – обусловливает значительный вклад транзитной составляющей грузопотоков на наших коммуникациях, в том числе на автомобильных дорогах. Основные транзитные автомобильные маршруты имеют общеевропейское значение.

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

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

И наконец, дорога М-11, имеющая европейскую индексацию Е-85, про-

ходит от границы Литвы (от Вильнюса) через Лиду – Слоним – Бытень до дороги М-1.

Как известно, протяженность дорог общего пользования составляет более 83 тыс. км, из них около 16 тыс. км – республиканские, остальное – местные дороги; примерно 71 тыс. км дорог (87 %) имеет твердое покрытие. В количественном отношении наши дороги выглядят неплохо: Беларусь занимает 15-е место в Европе по плотности дорог (в расчете на площадь территории) и 12-е место – по их протяженности (в расчете на количество населения). Однако в качественном отношении они оставляют желать лучшего и требуют реконструкции и модернизации, поскольку протяженность участков наших дорог, отвечающих европейским стандартам по нагрузке на одиночную ось (11,5 т), весьма мала. У нас действует отраслевая программа «Дороги Беларуси» на период с 2006 по 2016 годы, в которой намечено построить и провести реконструкцию 5360 км автомобильных дорог, а также выполнить капитальный ремонт более 9900 км дорог. Система мероприятий, предусмотренных программой, направлена на улучшение транспортно-эксплуатационного состояния дорог за счет работ по их строительству и реконструкции, капитальному и текущему ремонту. Запланировано исключить участки дорог (протяженностью 2,7 тыс. км) с неудовлетворительным показателем ровности, уменьшить на 3,5 тыс. км протяженность участков дорог с превышенными межремонтными сроками по капитальному ремонту. В результате протяженность дорог с хорошим транспортно-эксплуатационным состоянием увеличится почти в два раза – с 5 до 8,6 тыс. км. При этом несущая способность республиканских дорог, связывающих столицу страны с областными центрами, и международных транспортных коридоров будет рассчитана на нагрузку 11,5 т на одиночную ось.

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

Таблица 1.1 – **Категории белорусских автомобильных дорог**

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

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

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

К категории III относятся дороги, которые не попали в две первые категории. Они связывают райцентры с городами районного подчинения, а также с железнодорожными станциями и республиканскими дорогами. Затем следуют местные дороги (IV категории), не отнесенные к категории III. И, наконец, последняя V категория – автомобильные дороги местного значения.

Наибольшая нагрузка приходится на республиканские дороги: более 70 % внутренних грузовых перевозок и практически весь транзит осуществляется по этим дорогам.

Российская классификация автомобильных дорог также сохранила основные критерии советской классификации. Она представлена в таблице 1.2, из которой видно, что российские дороги также разделены на пять категорий.

Таблица 1.2 – **Характеристики российских автомобильных дорог**

Показатель	Категория дорог				
	I	II	III	IV	V
	общегосударственного значения, магистральные и региональные		республиканского и областного значения	местного значения	
Интенсивность движения, ед./сут	≥ 7000	3000–7000	1000–3000	200–1000	< 200
Число полос движения	≥ 4	2	2	2	1
Ширина, м: – проезжей части – полосы движения – земляного полотна	 ≥ 10 3,75 ≥ 27,5	 7,5 3,75 15,0	 7,0 3,5 12,0	 6,0 3,0 10,0	 4,5 – 8,0
Наибольшие уклоны, %	35	46	57	68	79
Расчетная скорость движения, км/ч	150	120	100	80	60

1.3 Основные конструкции дорожных одежд

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

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

Дорожная одежда представляет собой многослойную конструкцию, предназначенную для движения автотранспорта и передачи нагрузки от него на земляное полотно. *Дорожная одежда* содержит три основных слоя, отличающихся составом материалов: *покрытие*, *базовый слой ос-*

нования и *дополнительный (подстилающий) слой*. В свою очередь, каждый из этих слоев может быть одно- или многослойным.

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

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

Покрытие – это верхний слой дорожной одежды с высоким сопротивлением износу, ударным нагрузкам и природным факторам. Он воспринимает нагрузки непосредственно от колес автотранспорта и обеспечивает заданные транспортно-эксплуатационные характеристики дороги, в том числе ровность, высокий коэффициент сцепления с шинами и долговечность. В свою очередь, покрытие может быть многослойным. В большинстве случаев оно имеет два слоя: *основной (несущий) слой* и *слой износа* (т.е. самый верхний слой, с которым контактируют шины автотранспорта). Слой износа по мере истирания периодически восстанавливают.

Покрытия дорожной одежды автомобильных дорог разделяют на четыре основных типа, которые различаются капитальностью конструкции, интенсивностью движения автотранспорта и технико-экономическими характеристиками: 1) усовершенствованные капитальные; 2) усовершенствованные облегченные; 3) переходные; 4) низшие (простейшие).

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

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

Ведущее место на дорогах и улицах занимают асфальтобетонные (АБ) покрытия. Их устраивают на автомобильных дорогах I–IV категорий, аэро-

дромах и городских улицах из горячих, теплых и холодных АБ смесей, которые готовят смешением исходных компонентов (щебня, песка, минерального порошка и дорожного битума) в заданных стандартом соотношениях.

Усовершенствованными облегченными считают покрытия из горячего асфальтобетона марки III, теплых и холодных асфальтобетонных смесей, эмульсионных смесей, а также покрытия из щебеночных и гравийных материалов, обработанных вяжущими веществами путем пропитки и смешения на месте. К облегченным покрытиям относят также слои износа, устроенные на покрытиях переходного типа в результате поверхностной обработки. Покрытие по способу пропитки получают путем распределения щебня фракции 20–40 мм с последующим розливом битума или битумной эмульсии и распределением мелкого черного щебня фракции 5–10 мм. Покрытие по способу пропитки получают смешением минерального материала (щебня, песчано-гравийной смеси и др.) с битумом или битумной эмульсией непосредственно на дороге. Расчетный срок службы усовершенствованных облегченных покрытий составляет 10 лет.

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

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

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

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

Эти холодные смеси используют для устройства элементов дорожной одежды различных категорий дорог:

1) верхних слоев оснований на дорогах I–III категорий;

2) нижних слоев покрытий на дорогах III категории;

3) верхних слоев покрытий на дорогах IV–V категорий.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Рециклером (ресайклером) называют автоматизированную машину для ремонта и восстановления АБ покрытий и оснований дорожной одежды методом *холодного рециклинга.* Она обеспечивает снятие старого покрытия, смешивание его частиц с новым вяжущим (водоцементной смесью, битумной эмульсией и др.), укладку и уплотнение на дорожном полотне.

В дальнейшем будем использовать термин «рециклинг» и его производные.

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

2 МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

2.1 Классификация и свойства асфальтобетонов. Технология производства асфальтобетонных смесей

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

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

1) достаточной механической прочностью асфальтобетонов к восприятию нагрузок от транспортных средств;

2) хорошим сцеплением покрытий с автомобильными шинами;

3) высокими показателями ровности;

4) широким применением индустриальных методов приготовления асфальтобетонных смесей, их укладки и уплотнения на дороге;

5) возможностью повторного использования;

6) гигиеничностью по сравнению с грунтовыми и гравийными покрытиями;

7) бесшумностью при проезде транспорта по сравнению с цементобетонными покрытиями;

8) удобством очистки покрытий от снега в зимний и пыли в летний периоды;

9) быстротой и простотой ремонта при относительно невысокой стоимости работ.

Долговечность покрытий из асфальтобетонов при соблюдении технологии приготовления асфальтобетонной смеси (выбор материалов, проектирование

состава), укладки и уплотнения составляет для загородных дорог 10–12 лет, для городских – 6–8 лет. При использовании активированных компонентов срок службы покрытий возрастает на 2–3 года и более.

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

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

– *горячие* – приготовленные из вязких битумов и применяемые с температурой не ниже 120 °С;

– *теплые* – приготовленные из вязких и жидких битумов и применяемые с температурой не ниже 100 °С и 70 °С соответственно;

– *холодные* – приготовленные из жидких битумов и применяемые с температурой не ниже 5 °С.

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

– *крупнозернистые* – с зернами размером до 40 мм;

– *мелкозернистые* – до 20 мм;

– *песчаные* – до 5 мм.

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

Асфальтобетоны из горячих и теплых смесей в зависимости от величины остаточной пористости разделяют на следующие к л а с с ы:

– *плотные* – с остаточной пористостью 1–5 %;

– *пористые* – 5–12 %;

– *высокопористые* – 12–18 %.

Щебеночные и гравийные смеси в зависимости от содержания в них щебня или гравия, а также песчаные смеси в зависимости от вида песка и качественных показателей разделяют (для плотных асфальтобетонов) на типы и марки, указанные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – **Типы и марки плотных асфальтобетонных смесей**

Типы смесей		Количество щебня (гравия), мас. %	Вид песка	Марки смесей	
горячие и теплые	холодные			горячие и теплые	холодные
А	–	50–65 щебня	–	I и II	–
Б	$Б_х$	35–50 щебня или гравия	–	I, II, III	I и II
В	$В_х$	20–35 щебня или гравия	–	II и III	II
Г	$Г_х$	–	Дробленый или из отсевов дробления	I, II, III	I
Д	$Д_х$	–	Природный	II и III	II

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

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

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

АБ смесь состоит в большинстве случаев из трех основных компонентов – битума, каменного материала и минерального порошка, каждый из которых должен быть соответствующим образом подготовлен.

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

Подготовка каменных материалов включает хранение запаса щебня и песка, предварительное дозирование и сортирование по фракциям, подачу для сушки и нагрева, сушку и нагрев, подачу горячих материалов (щебня и песка) на окончательное дозирование и сортирование по фракциям.

Подготовка минерального порошка включает его хранение и подачу на дозирование.

В таблице 2.2 представлены показатели физико-механических свойств асфальтобетонов из горячих и теплых смесей, регламентированных упомянутым стандартом.

АБ смеси готовят в асфальтосмесительных установках (асфальтосмесителях). Технологический процесс их приготовления состоит из следующих основных операций:

1) предварительное дозирование минеральных материалов (песка, щебня, гравия, отсева);

2) их загрузка в сушильные устройства, просушивание и нагрев до рабочей температуры;

3) сортирование в соответствии с техническими требованиями к выпускаемой смеси;

4) нагрев вяжущих материалов до рабочей температуры;

5) окончательное дозирование компонентов;

6) перемешивание всех компонентов;

7) выдача готовой смеси.

Таблица 2.2 – **Основные показатели физико-механических свойств асфальтобетонов из горячих и теплых смесей**

Показатель*	Нормы для асфальтобетонов из смесей марок					
	для автомобильных дорог и аэродромов			для городских улиц и дорог		
	I	II	III	I	II	III
P, объем. % для асфальтобетона типа:						
А	15–18	15–18	–	15–18	15–18	15–18
Б и Г	13–18	13–18	15–18	13–18	13–18	18–20
В и Д	–	18–20	18–20	–	18–20	–
W, объем. % для асфальтобетона типа:						
А	2–4	2–4	–	2–4	2–4	–
Б и Г	1–4	1–4	1–4	1–3	1–4	1–4
В и Д	–	1–4	1–4	–	1–4	1–4
$\sigma_{сж}$, МПа, не менее	1,1	1,0	0,9	1,1	1,0	0,9
Е, МПа, для дорог:						
I категории	100	–	–	120	–	–
II категории	75	–	–	90	–	–
III–IVкатегории	–	50	35	–	60	40
для участков с интенсивным движением	120	100	–	150	120	–

* *P* – пористость минерального остова; *W*– водонасыщение; $\sigma_{ск}$ – предел прочности при сжатии при температуре 50 °С; Е– модуль остаточной (пластической) деформации при температуре 50 °С.

На рисунке 2.1 представлена принципиальная технологическая схема процесса приготовления АБ смеси на асфальтосмесительной установке. Со склада минеральные материалы подают в агрегат питания 1, каждый расходный бункер которого имеет дозатор для предварительного весового или объемного дозирования фракции минерального материала.

Далее непрерывно дозируемые материалы поступают при помощи ленточного транспортера 2 в загрузочное устройство 4 сушильного агрегата 5, где их высушивают и нагревают до рабочей температуры. Барабан имеет топочный агрегат с форсункой 6. Температуру нагревания устанавливают с учетом последующих потерь и постоянно контролируют. После нагрева и сушки компоненты смеси подают горячим элеватором 7 в сортировочный агрегат 17 для более тщательного фракционирования по отсекам горячего бункера 19 и последующего весового дозирования в дозаторе, а негабарит сбрасывают в бункер 20. При установке перекидного лотка 18 в положение II горячие материалы поступают в бункер песка и далее в дозатор, минуя грохот.

В установках периодического действия дозирование ведут порционно на каждый последующий замес. Отдозированный материал одного замеса из весового бункера дозатора 25 для минерального материала подают в смеситель 22. Одновременно порцию минерального порошка из агрегата хранения и выдачи 13 подают в бункер, а затем дозатором 21 в смеситель. Битум из битумохранилища 14, подогреваемый нагревателем 15, вводят в смеситель насосно-дозирующим устройством 16. Подобные устройства также применяют для дозирования и подачи в смесь поверхностно-активных веществ, а также модифицирующих добавок.

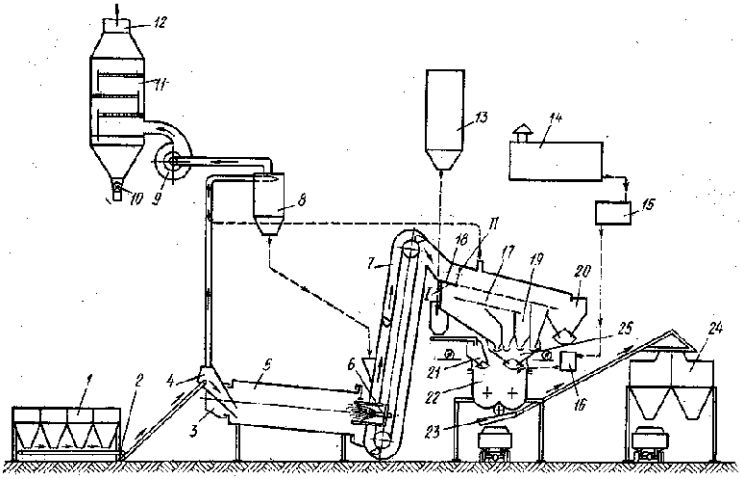


Рисунок 2.1 – Технологическая схема приготовления асфальтобетонной смеси:
1 – агрегат питания; 2 – ленточный транспортер; 3 – дымовая коробка;
4 – загрузочное устройство; 5 – сушильный агрегат; 6 – форсунка; 7 – горячий элеватор;
8 – первая ступень очистки дымовых газов; 9 – дымосос; 10 – дозатор пыли;
11 – вторая ступень пылеочистки; 12 – дымовая труба; 13 – агрегат минерального порошка;
14 – битумохранилище; 15 – нагреватель битума; 16 – насосно-дозирующее устройство;
17 – сортировочный агрегат; 18 – перекидной лоток; 19 – горячий бункер; 20 – бункер негабарита; 21 – дозатор минерального порошка; 22 – смеситель; 23 – скиповый подъемник;
24 – накопительный бункер; 25 – дозатор минерального материала

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

Для загрузки агрегата минерального порошка применяют пнемотранпорт. Асфальтосмесительная установка может быть оборудована дополнительным агрегатом для беспламенной сушки и нагрева минерального по-

рошка. Битумная система питается от обогреваемой цистерны, имеющей насосное устройство.

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

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

Асфальтосмесительные установки классифицируют по следующим признакам:

1) *по производительности* (т/ч) – малой (до 40), средней (50–100), большой (150–350) и особо большой (более 400);

2) *по мобильности* – передвижные (сезонные), полустационарные и стационарные;

3) *по конструктивному признаку* (компоновке агрегатов) – башенные, партерные и комбинированные;

4) *по технологическому принципу* – циклического и непрерывного действия;

5) *по типу смесителя* – с лопастным и вибрационным;

6) *по типу барабана* – с сушильным и сушильно-смесительным.

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

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

Стационарное оборудование или установки, базирующиеся в городе, сооружают капитально для длительной эксплуатации на одном и том же объекте. В отличие от них передвижные асфальтосмесители проектируют в расчете на многократную смену объектов эксплуатации, когда большие объемы работ выполняют в короткие сроки, например, для строительства или ремонта автомагистралей, аэродромов, гидротехнических сооружений и др. Передвижные агрегаты должны быть компактными, транспортабельными и мобильными. Поэтому агрегаты устанавливают на рамах специальных прицепных или полуприцепных транспортных средств. Они имеют мон-

тажные приспособления и специальные устройства (лебедки, домкраты, блоки, кран-балки и т. п.) для оперативного монтажа и демонтажа оборудования. Их металлоконструкции обычно выполняют в виде легкоразъемных секций.

Различают две схемы движения материала в смесительной установке – *вертикальную* и *горизонтальную*, определяемые башенным или партерным расположением агрегатов. *При башенном расположении* (рисунок 2.2) агрегаты смесительного оборудования располагают один под другим по вертикали и материалы нужно поднять только один раз, после чего они под действием собственной силы тяжести последовательно проходят через все агрегаты сверху вниз без дополнительных затрат энергии на их перемещение.

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

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

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

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

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

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

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

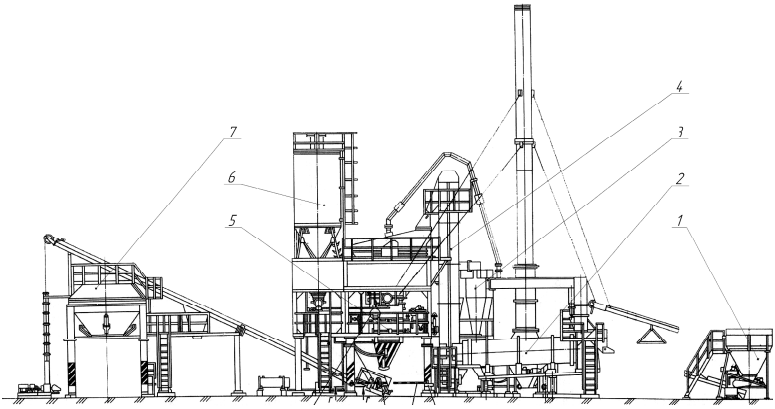


Рисунок 2.2 – Конструктивная схема башенной асфальтосмесительной установки:
1 – агрегат питания; 2 – сушильный агрегат; 3 – система пылеулавливания;
4 – горячий элеватор; 5 – смесительный агрегат;
6 – расходный бункер; 7 – накопительный бункер готовой смеси

2.2 Стационарные асфальтосмесительные установки

В основу конструкций стационарных современных установок положен принцип модульного агрегатирования, основанный на взаимозаменяемости деталей, узлов и отдельных агрегатов. Степень унификации достигает 80 % .

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

1) агрегат питания (узел предварительного дозирования);
2) сушильный агрегат;
3) система пылеулавливания;
4) смесительный агрегат;
5) битумоплавильный агрегат;
6) агрегат минерального порошка;
7) накопительный бункер готовой смеси;
8) пневмосистема;
9) технологические трубопроводы;
10) система управления с кабиной оператора.

В зависимости от типа и назначения асфальтосмесителя в его состав может входить следующее дополнительное оборудование:

– хранилища битума, гудрона, поверхностно-активных веществ и добавок;
– дробильно-сортировочные установки;
– стационарные (полустационарные) склады минерального порошка;
– стационарные котельные, компрессорные, газораспределительные пункты;
– собственные подъездные железнодорожные пути (повышенного типа) с механизмами для механизированной выгрузки вагонов;
− механизированные склады минеральных материалов;

– ремонтные пункты и боксы для дорожной техники и автотранспорта;
– бытовые и административные помещения для обслуживающего персонала;
– передвижные или стационарные дорожные лаборатории;
– склады ТСМ;
– стационарные системы пожаротушения.

Комплекс перечисленного технологического оборудования представляет собой производственное предприятие по выпуску асфальтобетонных смесей, т.е. асфальтобетонный завод (АБЗ), вариант генерального плана которого представлен на рисунке 2.3.

В отдельных случаях в состав АБЗ входят окислительные установки для переработки гудрона, а также установки для производства модифицированных битумов и битумных эмульсий.

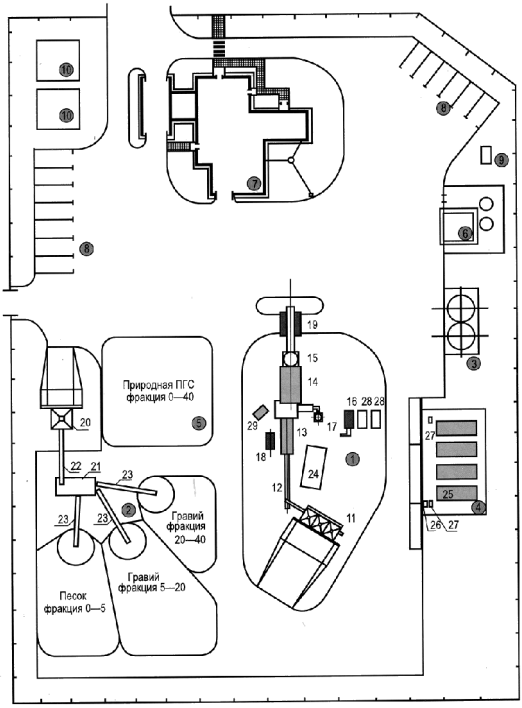


Рисунок 2.3 – Схема генерального плана асфальтобетонного завода: 1 – асфальтосмесительная установка; 2 – линия сортировки щебня; 3 – склад минерального порошка; 4 – битумохранилище; 5 – склад минеральных материалов; 6 – компрессорная; 7 – производственно-бытовое здание с весовой; 8 – стоянка для автомобилей; 9 – трансформаторная подстанция; 10 – противопожарные резервуары; 11 – агрегат питания; 12 – наклонный конвейер; 13 – сушильный агрегат; 14 – смесительный агрегат; 5 – агрегат минерального порошка; 16 – битумоплавильный агрегат; 17 – система пылеулавливания; 18 – топливный бак; 19 – накопительный бункер готовой смеси; 20 – приемный бункер; 21 – грохот; 22, 23 – ленточный конвейер; 24 – шламоотстойник; 25 – битумоплавильня; 26 – емкость для приема битума из автобитумовозов; 27 – насосная установка; 28 – расходные емкости для битума; 29 – кабина оператора

Агрегат питания предназначен для предварительного дозирования всех фракций минеральных материалов с высокой точностью (не ниже ±5 %), а также их непрерывной подачи в сушильный агрегат. Он состоит (рисунок 2.4) из нескольких бункеров (обычно четырех) объемом 6–10 м^3 каждый, ленточных питателей производительностью от 6 до 50 т/ч, которые вместе образуют блоки питателей, и горизонтального ленточного конвейера производительностью 100–200 т/ч, установленного ниже уровня питателей.

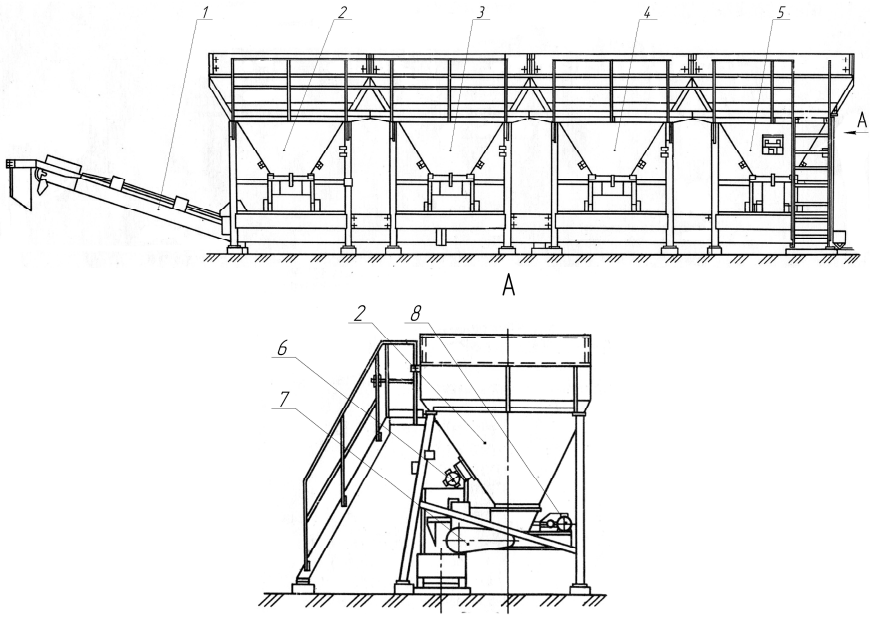


Рисунок 2.4 – Агрегат питания (узел предварительного дозирования):
1 – конвейер; 2, 3, 4, 5 – бункеры; 6 – вибратор-сводообрушитель; 7 – ленточный питатель;
8 – привод питателя

Каждый из бункеров рассчитан на загрузку заданной фракции минерального материала с помощью фронтального одноковшового погрузчика. Для предотвращения попадания негабаритного материала над каждым бункером установлена колосниковая решетка. Для предотвращения сводообразования и залипания влажных материалов на стенках бункеров установлены вибраторы. Из выходного отверстия, расположенного в нижней части бункера, материал подают на ленточный питатель, лента которого опирается на роликоопоры. Натяжение ленты производят натяжным устройством, совмещенным с ведомым барабаном. Объем дозируемого материала регулируют размером выходной щели питателя или скоростью движения его ленты путем изменения частоты вращения ведущего барабана (с помощью вариатора или электродвигателя постоянного тока). После дозирования материал попадает на ленточный конвейер, транспортирующий его в приемное устройство сушильного барабана.

Ленточный конвейер служит для подачи минеральных материалов от узла предварительного дозирования к приемному устройству сушильного барабана. Ленту конвейера поддерживают роликоопоры и приводит в движение мотор-барабан, расположенный в верхней части конвейера. Мотор-барабан состоит из электродвигателя и планетарного редуктора, конструктивно объединенных в один узел внутри барабана. Натяжение ленты осуществляют за счет

натяжного барабана, расположенного в нижней части, при помощи винтового натяжного устройства. Высоту подъема материала (угол наклона конвейера) регулируют изменением положения передней подвижной опоры с помощью лебедки с ручным приводом.

Настройку дозы, управление и контроль за работой агрегата питания осуществляет оператор дистанционно из кабины.

Сушильный агрегат, основным узлом которого является сушильный барабан, предназначен для сушки и нагрева до рабочей температуры (150–250 ^{o}C) минеральных материалов.

Сушильные агрегаты классифицируют по следующим основным признакам:

1) *по характеру технологического процесса* – сушильные барабаны периодического и непрерывного действия;

2) *по способу загрузки материалов* – с неподвижными и вращающимися наклонными лотками, виброжелобами, кольцевыми элеваторами и ленточными транспортерами;

3) *по способу сушки* – с поточной и противоточной схемами движения материалов и горячих газов.

В состав сушильного агрегата (рисунок 2.5) входят сушильный барабан 6 с приводом вращения, топочный агрегат с воздуходувкой и система топливоподачи. Барабан опирается бандажами 4 и 8 на ролики 21, которые установлены на раме 20, наклоненной под углом 3–6^{0}. Бандажи представляют собой стальные кольца, которые прикрепляют к наружной поверхности барабана через компенсаторы температурных деформаций 5 (пружинного или плавающего типа) сваркой или болтами. Для снижения контактных напряжений ролики устанавливают попарно на балансирных опорах. Кроме того, один из бандажей опирается также на два упорных ролика, которые предотвращают смещение барабана вдоль продольной оси. В конструкции крепления опорных и упорных роликов предусмотрена возможность их индивидуального регулирования. При больших диаметрах во избежание деформации барабана шаг установки компенсаторов должен быть не более 2,0–2,5 ширины компенсатора; пояс обечайки в зоне крепления компенсаторов изготавливают шириной (4–5)b и толщиной (1,5–2,0)d (b – ширина бандажа; d – толщина стенки барабана).

Вращение барабана осуществляют от электродвигателя 23 через ведущую шестерню 22 на зубчатый венец 3. Одновременно электродвигатель передает крутящий момент на вентилятор газоотводящей системы 7. Между обечайкой вращающегося барабана и торцами неподвижно закрепленных загрузочной и разгрузочной коробок устанавливают пылезащитные лабиринтные уплотнения.

Каменные материалы (щебень и песок) загружают в барабан через загрузочный короб 2, в стенке которого имеются окна для ввода материалов и удаления дымовых газов. Нижний торец барабана закрыт разгрузочным коробом 10, через который выгружают нагретые материалы. Он оборудован топкой 11, зажигательным конусом 12, подогревателем 13, форсункой

14 и вентилятором 18, которые необходимы для образования и поджига топливовоздушной смеси.

Для вращения сушильного барабана применяют привод с открытой зубчатой (как показано на рисунке 2.5) или цепной передачей. В качестве силовой установки применяют электродвигатели или двигатели внутреннего сгорания, последние чаще всего устанавливают на передвижных смесителях небольшой производительности. При использовании цепной передачи на обечайке закрепляют зубчатые сегменты, приводимые цепью.

В *сушильных барабанах периодического действия* материал загружают и выгружают порциями. В сравнении с сушильными барабанами непрерывного действия такие барабаны более сложны и менее экономичны, тепловой режим нестабилен, вследствие чего трудно контролировать и регулировать температуру нагреваемого материала.

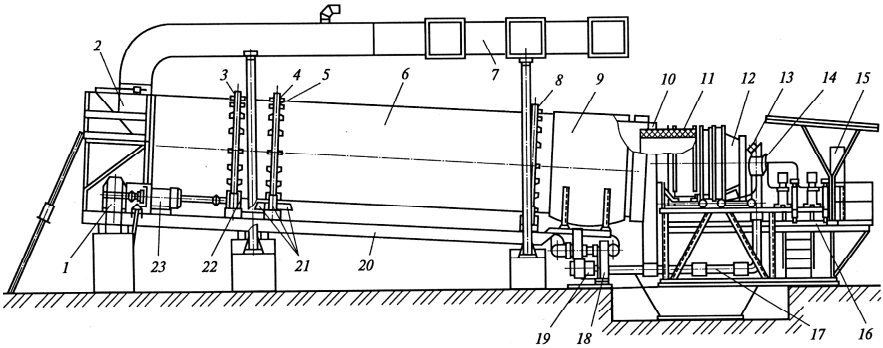


Рисунок 2.5 – Конструктивная схема сушильного агрегата:
1 – редуктор; 2 – загрузочный короб с дымовой коробкой; 3 – зубчатый венец; 4, 8 – опорные бандажи; 5 – температурный компенсатор; 6 – сушильный барабан; 7 – газоотводящая система; 9 – камера горячего воздуха; 10 – разгрузочный короб; 11 – топка; 12 – зажигательный конус; 13 – подогреватель; 14 – форсунка; 15 – пульт управления; 16 – площадка для персонала; 17 – воздуховод; 18 – вентилятор; 19 – электродвигатель вентилятора; 20 – рама; 21 – упорные и опорные ролики; 22 – ведущая шестерня; 23 – электродвигатель барабана

В *сушильных барабанах непрерывного действия* материалы загружают и выгружают непрерывно и равномерно. При установившемся режиме работы температура и влажность материалов и газов в каждой зоне барабана остаются постоянными во времени, что значительно облегчает возможность контроля теплового процесса при изменении количества подаваемого материала или его влажности. В барабанах непрерывного действия используют две схемы относительного движения нагреваемых материалов и горячих газов – *поточную* и *противоточную* (рисунок 2.6). По первой схеме материал и газы движутся в одном направлении, по второй – навстречу друг другу. Коэффициент использования теплоты горячих газов в бара-

банах с противоточной сушкой выше, чем в барабанах с поточной сушкой. Поэтому в современных асфальтосмесительных установках применяют сушильные барабаны непрерывного действия с противоточной схемой движения материалов.

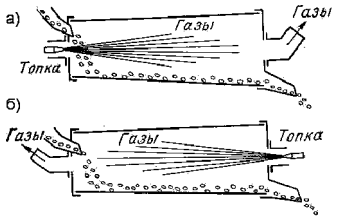


Рисунок 2.6 – Схемы нагрева минеральных материалов в сушильном барабане:
а – поточная; *б* – противоточная

Существует несколько способов загрузки материалов в сушильный барабан, которые определяют конструкцию приемного устройства. На рисунке 2.7 представлены основные типы загрузочных устройств.

В состав приемного устройства входят также колосниковый грохот для отбора негабаритного материала, бункеры с рычажной системой для сбора негабарита и газоход. Материал, просыпаясь через решетку грохота, поступает по лотку в подъемно-лопастную часть сушильного барабана. Навстречу поступающему материалу движется поток нагретых газов, просушивая его и нагревая до рабочей температуры. Внутри барабан разделен на три зоны. В первой зоне (длиной 0,5–0,8 диаметра барабана) расположены винтовые отбрасывающие лопасти, приваренные к обечайке барабана, которые обеспечивают перемещение материала от загрузочного торца и предотвращают его пересыпание обратно в загрузочную коробку. Угол подъема отбрасывающих лопастей составляет 45 – 60^0 к продольной оси барабана.

Вторая зона имеет подъемно-сбрасывающие лопасти, с помощью которых происходит основной нагрев материала в потоке горячих газов. Перемещение материала вдоль оси обеспечивает наклон барабана к горизонту под углом 3–6^0. Производительность сушильного барабана и процесса сушки изменяют, регулируя угол наклона с помощью винтовых или гидравлических подъемников, оборудованных указателем положения.

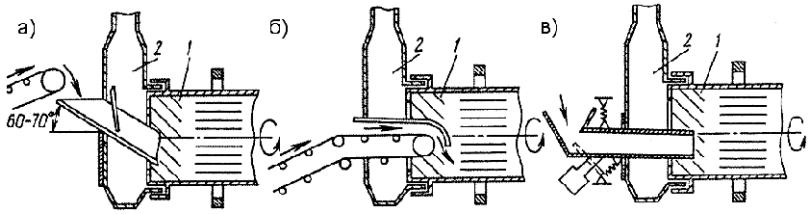


Рисунок 2.7 – Загрузочные устройства сушильных барабанов:
а – ссыпной лоток; *б* – ленточный конвейер; *в* – виброжелоб;
1 – сушильный барабан; 2 – дымовая коробка

Подъемно-сбрасывающие лопасти бывают различной формы: корытообразные мелкие, закрытые глубокие, криволинейные мелкие, серповидные, закрытые мелкие, закрытые глухие, плоские радиальные, плоские, отклоненные вперед или назад по ходу движения (рисунок 2.8).

Наиболее часто используют *закрытые глубокие лопасти*, которые имеют следующие размеры (рисунок 2.8, *б*. 2): l = 0,6…0,8 м; $l = 0{,}2D$; $l_1 = 0{,}085D$; $d = 0{,}6D$; $\alpha = 25\ldots30^0$. Лопасти устанавливают в несколько рядов по длине барабана. В соседних рядах их смещают на полшага. Лопасти в холодной части барабана обычно приварены, а в горячей части могут быть прикреплены болтами во избежание деформации вследствие неравномерного нагрева лопастей и обечайки.

В третьей зоне (длиной 0,4–0,6 диаметра барабана) происходит разгрузка, для чего устанавливают плоские лопасти под углом 20–30^0 к оси барабана, что ускоряет продвижение материалов. Разгрузочные лопасти могут иметь серповидную форму, что позволяет проносить материал над факелом и ссыпать по его периферии. В разгрузочных лопастях делают специальные вырезы, через которые просыпается материал, предохраняя обечайку от прямого воздействия факела форсунки, и происходит его окончательный нагрев до рабочей температуры.

Разгрузочный торец барабана входит в кожух разгрузочной коробки.

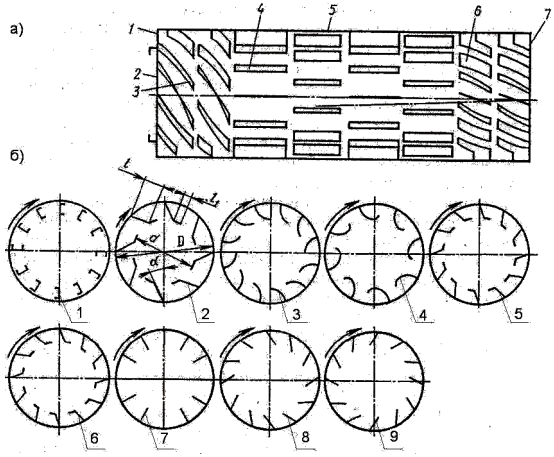


Рисунок 2.8 – Схема расположения лопастей сушильного барабана (*а*):
1 – торец барабана с загрузочным отверстием; 2 – загрузочное отверстие; 3 – отбрасывающие лопасти; 4 – подъемно-сбрасывающие лопасти; 5 – обечайка барабана; 6 – разгрузочные лопасти; 7 – отверстие для выхода высушенного материала;

конструкции подъемно-сбрасывающих лопастей (*б*):
1 – корытообразные мелкие; 2 – закрытые глубокие; 3 – криволинейные мелкие; 4 – серповидные; 5 – закрытые мелкие; 6 – закрытые глухие; 7 – плоские радиальные; 8 – плоские, отклоненные вперед по ходу движения; 9 – плоские, отклоненные назад по ходу движения

Для барабанов малого диаметра применяют разгрузочные коробки (рисунок 2.9, *а*) с гравитационным ссыпанием материала, в которых материал, минуя топку, поступает из барабана на лоток. Лоток устанавливают под углом 45^0 к горизонтальной оси, что обеспечивает свободное ссыпание сухого материала в приемную воронку горячего элеватора. Такая система имеет большую длину лотка и требует заглубления приемной воронки горячего элеватора.

Барабаны большого диаметра разгружают при помощи встроенного роторного (кольцевого) элеватора (рисунок 2.9, *б*).

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

Со стороны разгрузочной коробки барабана устанавливают топочное устройство (см. рисунок 2.5). Его монтируют на специальной раме, и оно состоит из топки, форсунки, устройства для розжига, фотоголовки и исполнительных механизмов, позволяющих изменять расход топлива и воздуха, поступающих в форсунку. Топочные агрегаты работают на газообразном (природный газ) или жидком (мазут) топливе.

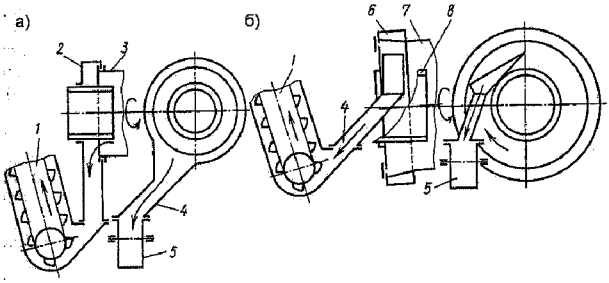


Рисунок 2.9 – Разгрузочные устройства сушильных барабанов:
а – ссыпной лоток; *б* – роторный (кольцевой) элеватор;
1 – горячий элеватор; 2 – разгрузочный короб; 3 – сушильный барабан; 4 – ссыпной лоток;
5 – приемная воронка; *6* – роторный (кольцевой) элеватор; 7 – обечайка сушильного барабана;
8 – топка

В передвижных сушильных барабанах форсунки обычно располагают по оси барабана перед его торцом. Образование факела пламени и его горение происходят непосредственно в барабане. При такой конструкции контакт пламени с нагреваемым материалом вызывает два нежелательных эффекта: во-первых, снижается температура газа и уменьшается термический КПД, что вызывает значительный перерасход топлива; во-вторых, возникает

опасность спекания мелких и перегрева крупных частиц материала с образованием в них трещин.

Стационарные установки лишены этих недостатков. В них горячие газы подают в сушильные барабаны из топок, в которых созданы более благоприятные условия для горения топлива и его полного сгорания. Топка состоит из стальной обечайки, облицованной изнутри огнеупорным кирпичом или огнеупорными блоками в виде кольцевых сегментов. Швы между кирпичами или секциями заполнены огнеупорным раствором. Между обечайкой и облицовкой проложен листовой асбест.

При работе на жидком топливе в состав сушильного агрегата входят топливные баки с насосами, фильтрами грубой и тонкой очистки, нагревателем для тяжелого топлива, контрольными приборами, регуляторами давления, термостатами и устройствами для розжига и контроля за факелом для аварийного отключения подачи топлива. Чтобы предотвратить перегрев сушильного барабана, предусматривают специальную блокировку топливного насоса и его выключение при остановке барабана. При работе на газообразном топливе сушильный агрегат состоит из газовой аппаратуры низкого или среднего давления, а также приборов автоматики и контроля.

Для повышения безопасности работы оператора и улучшения культуры обслуживания на сушильных барабанах устанавливают системы автоматического розжига. Электроискровой разрядник в сочетании с газовой горелкой или горелкой для сжигания жидкого топлива образуют запальное устройство. Возникающая между электродами разрядника электрическая искра поджигает подаваемое топливо. Образуется факел, используемый для разогрева камеры и воспламенения основного топлива. После возникновения устойчивого основного факела запальное устройство автоматически выключается. Фотоэлектрические устройства контролируют наличие пламени в топке. В зоне видимости пламени устанавливают систему линз с фотосопротивлением. При угасании пламени сопротивление чувствительного фотоэлемента резко изменяется, поступающий сигнал усиливается и подается на исполнительный механизм, перекрывающий подачу топлива к форсунке.

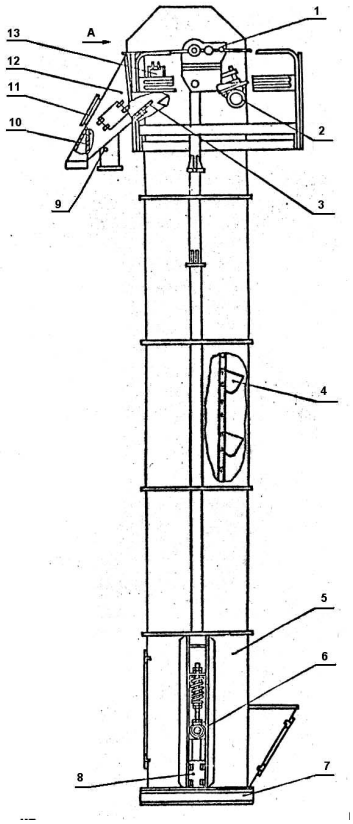
Для контроля за температурой нагреваемых материалов на выходе из сушильного барабана в разгрузочном лотке устанавливают термопары, которые соединяют с показывающим прибором, размещенным в кабине оператора. Кроме того, в кабине расположены приборы контроля расхода воздуха и топлива, температуры отходящих газов, автоматического контроля и поддержания пламени в сушильном барабане.

Смесительный агрегат со смесителем циклического действия предназначен для сортировки по фракциям и дозирования нагретых минеральных материалов, а также дозирования битума, минерального порошка и модифицирующих добавок, приготовления смеси и выдачи ее в транспортные средства или в бункер-накопитель.

Смесительный агрегат состоит из *горячего элеватора*, верхнего блока (*грохота, бункера негабарита* и излишков, *горячего бункера*) и нижнего блока (*дозатора минеральных материалов, дозатора битума, смесителя*).

Горячий элеватор (рисунок 2.10) представляет собой вертикально установленный ковшовый элеватор, на тяговой цепи которого закреплены ковши, поднимающие материал из ссыпного лотка сушильного барабана в сортировочный агрегат. Цепь приводит электродвигатель 2 через редуктор 1 и грузовой вал 14. Натяжение цепи осуществляет натяжной вал 6. Во избежание тепловых потерь и образования пыли элеватор закрыт кожухом 16.

Для дифференцированной разгрузки материалов разгрузочный патрубок горячего элеватора имеет ссыпной лоток 12, позволяющий материалам попадать в отсек горячего бункера, минуя грохот. Это достигается при помощи перекидной заслонки 9. Для того чтобы исключить просыпание материала при выгрузке из горячего элеватора, величину зазора между ковшами и ссыпным лотком регулируют специальной планкой 3.



Вид А

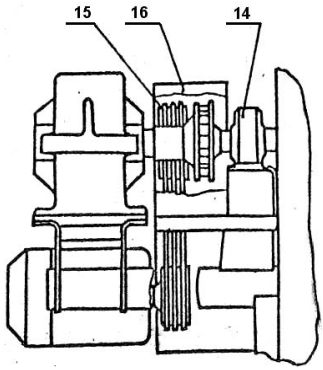


Рисунок 2.10 – Горячий элеватор:
1 – редуктор; 2 – электродвигатель;
3 – регулировочная планка;
4 – ковш; 5 – корпус; 6 – натяжной вал;
7 – основание;
8 – планка; 9 – заслонка;
10 – шторка; 11, 13 – задвижка;
12 – ссыпной лоток; 14 – грузовой вал;
15 – шкив; 16 – кожух

Расчеты горячего элеватора включают определение размеров ковшей, исходя из заданной производительности и характеристик транспортируемого материала, тяговый расчет с определением мощности привода и подбором его узлов и агрегатов.

Грохот предназначен для сортировки минерального материала (щебня, гравия, песка, отсева) по фракциям. Имеется два типа грохотов, отличающихся формой рабочего органа: барабанных и плоских (с плоскими ситами). Барабанные грохоты громоздки, имеют сравнительно низкую производительность, сложны в производстве и эксплуатации. Поэтому большинство асфальтосмесительных установок оборудовано плоскими грохотами, лишенными указанных недостатков.

На рисунке 2.11 представлена конструктивная схема плоского эксцентрикового грохота. Он имеет сварную раму 1, на которой в подшипниках 2 установлен эксцентриковый вал 3.

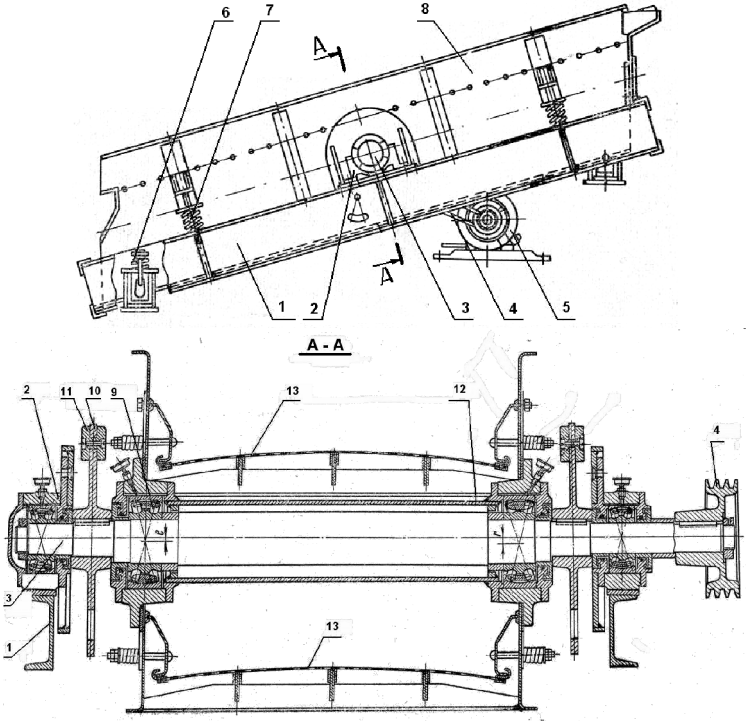


Рисунок 2.11 – Грохот агрегата питания:
1 – рама; 2, 9 – подшипники; 3 – эксцентриковый вал; 4 – ременная передача;
5 – электродвигатель; 6 – опора; 7 – пружинный амортизатор; 8 – подвижный короб; 10 – уравновешивающий диск; 11 – контргруз; 12 – труба защитная; 13 – сита

Два других подшипника 9 эксцентрикового вала закреплены на боковых стенках подвижного короба 8. Внутри короба располагают три или четыре яруса сит 13, позволяющих сортировать минеральный материал на фракции 0–5, 5–10, 10–15 и 15–20 (20–40) мм. Короб в четырех точках зафиксирован через пружинные амортизаторы 7 на раме, которую, в свою очередь, монтируют на металлоконструкции асфальтосмесителя через опоры 6. Грохот приводит электродвигатель 5 через ременную передачу 4. Для уменьшения пыления грохот закрывают стальным кожухом.

Эксцентриковый механизм состоит из эксцентрикового вала 3, вращающегося в подшипниках 2 и 9. При вращении вала каждая точка короба и установленных в нем сит совершает движение по окружности с радиусом, равным эксцентриситету вала, благодаря чему обеспечивается требуемое рассеивание материала по фракциям. Для уравновешивания центробежных сил от вращающихся масс и разгрузки коренных подшипников на валах установлены диски 10 с контргрузами 11. Для защиты подшипников от попадания пыли вал заключен в трубу 12.

Горячий бункер предназначен для накопления и кратковременного хранения отсортированного минерального материала в количестве, достаточном для бесперебойной работы дозирующих устройств. Температура минерального материала, находящегося в бункере, сохраняется постоянной за счет теплоизоляции его стенок. Вместимость отсеков принимают из расчета получасового (и более) запаса материалов. Каждый отсек горячего бункера оборудован указателем уровня, электроконтакты которого замыкают цепи питания сигнальных ламп, находящихся на пульте управления оператора. Оператор, контролируя положение предельных уровней материалов, имеет возможность управлять процессом приготовления смеси в соответствии с ее рецептурным составом.

Отсеки горячего бункера имеют затворы шиберного, секторного или челюстного типа с механическим, электромеханическим, гидравлическим или пневматическим приводом. Скорость подачи минеральных материалов в весовой дозатор регулирует величина открытия затворов.

Процесс контроля уровня минеральных материалов в отсеках горячего бункера и подачи его в весовой дозатор может быть автоматизирован. В этом случае силовые приводы управляют затворами отсеков, обеспечивая точное предварительное дозирование минерального материала в соответствии с заданным рецептурным подбором асфальтобетонной смеси.

Для сбора минерального материала, размер частиц которого больше максимального размера ячейки верхнего сита грохота, а также излишков при переполнении отсеков горячего бункера имеется *бункер негабарита и излишков* в составе смесительного агрегата.

Для предупреждения выдачи бракованной смеси из-за понижения температуры материалов (ниже допустимого предела) в нижние части отсеков горячего бункера встраивают термопары, позволяющие оператору дистанционно контролировать температуру.

Постоянный контроль за температурой минеральных материалов на выходе из отсеков облегчает настройку сушильного барабана на заданный режим работы с учетом тепловых потерь при движении материалов от сушильного барабана к весовому дозатору.

Дозатор минеральных материалов предназначен для подачи в смеситель компонентов асфальтобетонных смесей в заданных пропорциях с погрешностью, не превышающей установленной нормы.

Для этих целей в зависимости от характера технологического процесса перемешивания (периодического или непрерывного), свойств дозируемых материалов и требуемой точности дозирования применяют весовые или объемные дозирующие устройства.

В промышленных асфальтосмесителях применяют весовое дозирование минеральных материалов, хотя оно не учитывает изменения удельной поверхности компонентов различных фракций. Объемное дозирование используют, как правило, в лабораторных установках.

Управление весовыми дозаторами может быть ручным, автоматическим или полуавтоматическим. Фракции минерального материала можно взвешивать одновременно на отдельных рядом расположенных весах или последовательно на суммирующих весовых устройствах.

Система автоматического дозирования обеспечивает возможность приготовления асфальтобетонных смесей по любому заданному рецептурному подбору, точное и надежное соблюдение продолжительности отдельных операций и их строгую последовательность согласно заданному технологическому режиму. В результате повышается стабильность состава выпускаемой смеси, существенно влияющая на долговечность асфальтобетонных покрытий.

На смесителях непрерывного действия для весового контроля применяют весовые дозаторы непрерывного типа (расходомеры).

В большинстве асфальтосмесителей весовой дозатор подвешен к раме верхнего блока с помощью элементов рычажной системы (рисунок 2.12). Компоненты минеральных материалов и минеральный порошок взвешивают в весовом дозаторе нарастающим итогом: масса минерального порошка плюс масса щебня крупной фракции (10–15, 15–20 или 20–40 мм) плюс масса щебня мелкой фракции (5–10 мм) плюс масса песка или отсева. Требуемую массу каждой фракции задают с помощью датчиков, установленных на шкале указателя массы. Загруженный дозатор опускают вниз, сообщая через систему рычагов заданный угол поворота показывающей стрелке датчика весоизмерителя. Датчик электрически связан с приемником, установленным в кабине оператора. Как только весовая стрелка приемника доходит до задающей стрелки, датчик последней подает сигнал на закрытие затвора соответствующего отсека горячего бункера или остановку шнека подачи минерального порошка. Затворы двух отсеков весового дозатора открываются с помощью пневмоцилиндров.

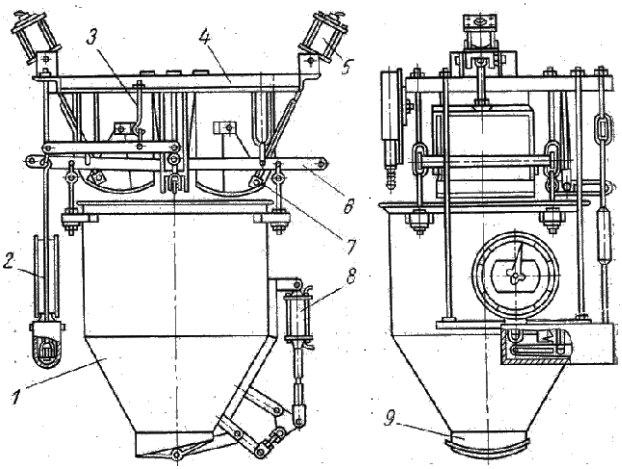


Рисунок 2.12 – Автоматический весовой дозатор минеральных материалов:
1 – корпус; 2 – тяга весовой системы; 3 – серьга подвески весовой системы; 4 – неподвижная верхняя рама; 5 – пневмоцилиндр; 6 – коромысло весовой системы; 7 – затвор загрузочного лотка; 8 – пневмоцилиндр управления затвором; 9 – затвор

Дозатор битума является дозатором объемного действия. Наиболее распространенный *дозатор объемного действия* выполнен в виде бака, внутри которого перемещается поплавок (рисунок 2.13). Снаружи битумный бак 2 имеет рубашку для обогрева. Теплоноситель (пар или масло), циркулирующий по внутренней полости рубашки бака дозатора, поддерживает требуемую температуру битума. Поплавок 1 дозатора соединен стальным канатом 3 с сельсин-датчиком 4, который подает сигнал на сельсин-приемник циферблатного указателя, установленного в кабине оператора. Необходимую дозу битума устанавливают с помощью задающей стрелки с бесконтактным датчиком на циферблатном указателе. Кран для подачи битума в дозатор открывает пневмоцилиндр 6. Битум заполняет бак дозатора, одновременно перемещая поплавок вверх. Перемещение поплавка вызывает поворот ротора сельсин-датчика и, соответственно, сельсин-приемника. При наборе заданного объема битума флажок указывающей стрелки входит в зазор бесконтактного датчика задающей стрелки и подает сигнал на закрытие битумного крана. При поступлении сигнала на другую обмотку пневмораспределителя открывается кран для слива битума. Одновременно включается насос, подающий отмеренную дозу битума в смеситель. По мере уменьшения битума в мерном баке поплавок 1 опускается вниз и указывающая стрелка возвращается в нулевое положение.

Во избежание перелива битума в мерном баке установлен дополнительный поплавок, который с помощью рычага через конечный выключатель отключает насос, подающий битум в дозатор. Дозатор битума перед работой должен быть отрегулирован так, чтобы указывающая стрелка находилась в нулевом положении.

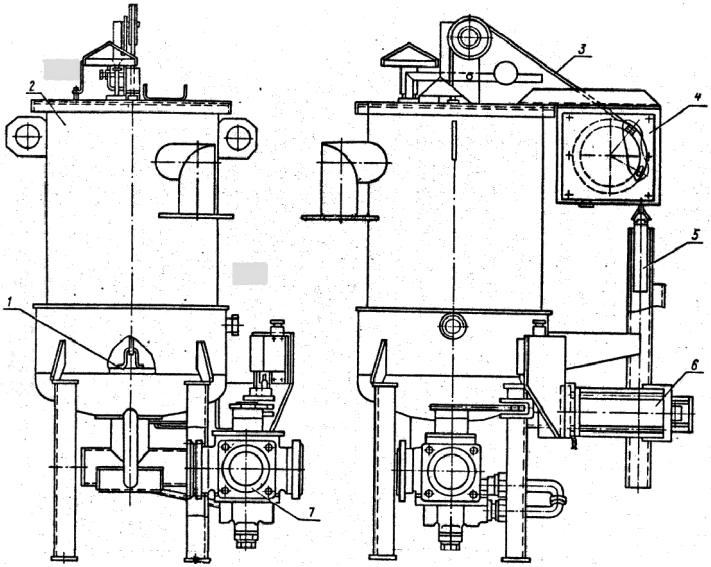


Рисунок 2.13 – Дозатор битума объемного действия:
1 – поплавок; 2 – бак; 3 – канат; 4 – сельсин-датчик; 5 – груз;
6 – пневмоцилиндр управления трехходовым краном

Наиболее совершенными дозаторами вяжущих материалов считают устройства с высокоточными расходомерами.

Дозатор битума с расходомером, представленный на рисунке 2.14, состоит из шестеренного насоса 5 с приводом, фильтра 7, перепускного крана 9, поршневого счетчика 11 с преобразователем потока и трубопроводов. Горячий битум из нагревателя поступает по трубопроводу 14 в кольцевой зазор между проволочным фильтрующим элементом 6 и стенкой фильтра 7. Отфильтрованный битум из полости Б насосом подают к крану 9 и затем через счетчик 11 в трубу 12 с форсунками, которые распыляют битум в смесителе. После впрыска в смеситель заданной дозы битума по сигналу с блока управления 10 кран 9 переключают и весь битум направляют через отверстие 8 в полость А и затем по возвратному трубопроводу 13 обратно в нагреватель.

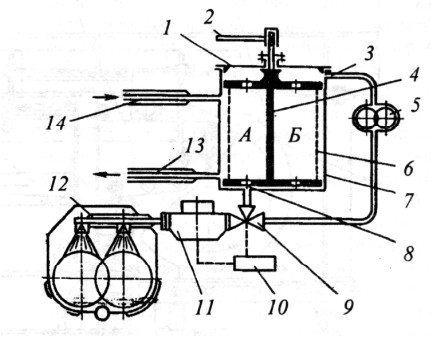


Рисунок 2.14 – Схема дозатора битума с расходомером:
1 – фланец; 2 – рукоятка; 3, 8 – входное и выходное отверстия; 4 – перегородка; 5 – насос; 6 – фильтрующий элемент; 7 – фильтр; 9 – кран; 10 – блок управления; 11 – счетчик; 12 – труба; 13, 14 – трубопроводы

В современных асфальтосмесительных установках дозированную подачу битума осуществляют также за счет контроля и регулирования частоты вращения вала битумного насоса.

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

– компоненты смеси должны быстро и равномерно перемешиваться для получения однородного состава;

– поверхности всех минеральных частиц должны качественно обволакиваться вяжущим материалом;

– затраты энергии в процессе перемешивания должны быть минимальными;

– рабочие органы, узлы и агрегаты смесителя должны иметь большой ресурс, быть удобными в эксплуатации и ремонте, иметь легкий доступ для осмотра, регулирования и замены.

Смесители разделяют по следующим признакам:

1) *по способу смешивания* – смесители свободного (гравитационного) и принудительного перемешивания;

2) *по режиму работы* – непрерывного и периодического действия;

3) *по количеству валов* – одно- и двухвальные;

4) *по рабочей скорости лопаток* – тихоходные и скоростные.

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

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

Смеситель непрерывного действия (с принудительным перемешиванием) представлен на рисунке 2.15. Он имеет корпус 3 и два горизонтальных вала с лопастями 7. Лопасти закреплены на валах посредством кронштейнов и распо-

ложены попарно, причем каждая пара лопастей повернута относительно другой пары на угол 90^0. На каждом валу закреплено по 12 пар лопастей, расположенных по винтовой линии. По отношению к оси вала лопасти закрепляют на кронштейнах под углом 45^0, что обеспечивает перемещение материала не только в плоскости вращения лопастей, но и вдоль корпуса смесителя. Внутренняя поверхность корпуса облицована сменными футеровочными листами. Корпус закрыт сверху пыленепроницаемыми крышками 4 и снабжен пылесборником 5, который связывает трубу отсоса запыленного воздуха с вентилятором пылеулавливающего агрегата. Сверху установлена распределительная битумная труба 2 с тремя распылительными форсунками.

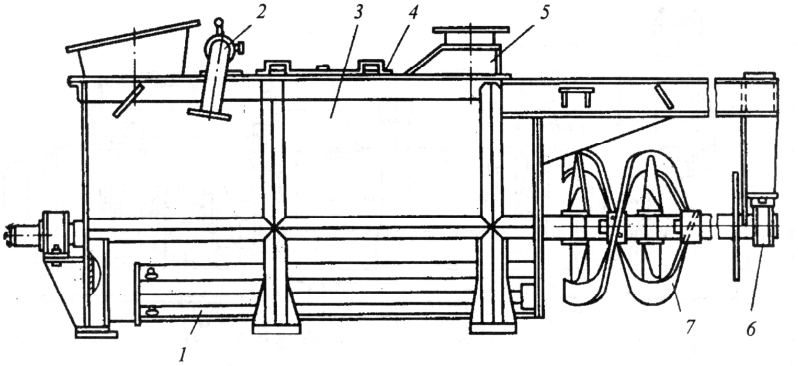


Рисунок 2.15 – Двухлопастной смеситель непрерывного действия:
1 – масляная рубашка; 2 – распределительная труба для битума; 3 – корпус;
4 – крышка пыленепроницаемая; 5 – пылесборник; 6 – подшипник; 7 – винтовая лопасть

В *смесителях периодического действия* также имеется два лопастных вала. Эти валы обеспечивают как *противоточную*, так и *поточно-контурную* схемы движения смеси, что существенно расширяет технологические возможности смесителей.

Привод смесителя состоит,как правило, из электродвигателя, редуктора и зубчатой передачи между валами, которая обеспечивает синхронность их вращения.

Вместимость корпуса смесителя зависит от производительности асфальтосмесительной установки и длительности перемешивания. Как правило, корпус смесителя имеет систему обогрева (парового, масляного или электрического) для обеспечения оптимального температурного режима приготовления смеси. В днище смесителя размещают шиберные, секторные или челюстные затворы с электромеханическим, гидравлическим или пневматическим приводом. Наибольшее распространение получил пневмопривод, который обеспечивает быстрое открывание затвора, сокращение времени разгрузки и продолжительности цикла работы смесителя.

Смеситель периодического действия, представленный на рисунке 2.16, имеет горизонтальную прямоугольную раму 1, в которой размещен корпус 8.

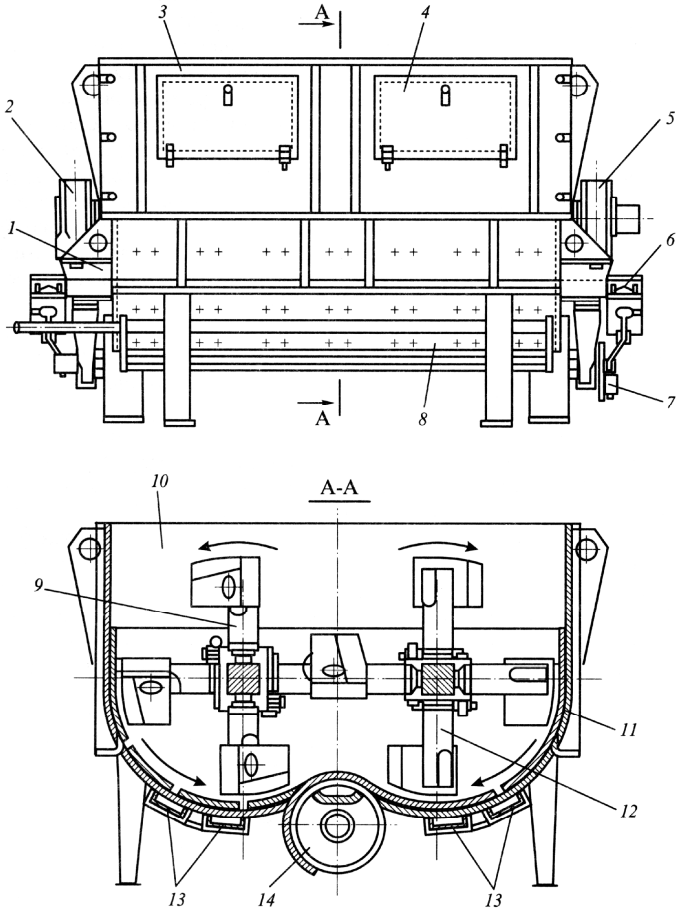


Рисунок 2. 16 – Двухлопастной смеситель периодического действия:
1 – рама; 2, 5 – подшипники; 3, 10 – боковая и торцевая стенки; 4 – крышка; 6 – пневмоцилиндр управления затвором; 7 – конечный выключатель; 8 – корпус; 9, 12 – лопастные валы; 11 – футеровка; 13 – теплообменные рубашки; 14 – затвор

Он снабжен двумя валами 9 и 12 квадратного сечения, на которых закреплены лопасти, состоящие из кронштейнов с лопатками на концах. Лопасти крепят попарно, чтобы они уравновешивали друг друга на больших скоростях вращения валов. Рабочие поверхности лопаток образуют прерывистую винтовую линию, поскольку соседние лопасти повернуты относительно друг друга

на 90^0, а лопатки – на 45^0 . Меняя ориентацию лопаток, можно задавать как поточно-контурную, так и противоточную схему движения смеси.

Днище смесителя образовано двумя симметричными полуцилиндрами, сопряженными по образующей. Снаружи корпус защищен теплообменными рубашками 13, в которые подают теплоноситель, поддерживающий заданную температуру в смесителе.

Готовую смесь разгружают через донный люк с секторным затвором 14, который управляют пневмоцилиндром 6.

Привод данного смесителя осуществляют от электродвигателя или гидромотора через редуктор и зубчатую передачу между валами для обеспечения синхронности их вращения.

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

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

Бункер готовой смеси, представленный на рисунке 2.17, состоит из двух теплоизолированных неподвижных емкостей-бункеров 6 и 9, имеющих систему обогрева, подвижной емкости 15, эстакады 13, скипа 16, лебедок 18 и 1, а также лотка 11.

Готовую смесь подают из затвора смесительного агрегата через подвижную емкость 15 в скип 16, который представляет собой бункерную тележку. Скип перемещают по эстакаде с помощью лебедки 1 через тяговый канат 12, огибающий блок 3, закрепленный на эстакаде. При наезде на поднятый упор (5 или 8 в зависимости от места выгрузки) его затвор открывается и смесь выгружается в емкость 6 через горловину, подвижная крышка которой упором скипа также отодвигается, освобождая пространство для ссыпания смеси. Ее уровень в бункере контролирует указатель уровня.

При выгрузке в лоток 11 затвор скипа открывается подвижным упором 10 с помощью пневмоцилиндра. Как правило, в лоток выгружают бракованную смесь или смесь, приготовленную по специальному рецепту.

Промежуточный бункер служит для выгрузки смеси в транспортное средство при неустановившемся режиме работы или в случае выпуска бракованной смеси. Установленный рядом с промежуточным бункером подъемный упор предназначен для открытия затвора скипа перед выгрузкой. Подъем упора осуществляют пневмоцилиндром. Конечный выключатель обеспечивает остановку скипа при промежуточной разгрузке смеси.

Для выгрузки АБ смеси в транспортное средство непосредственно из смесителя нижнюю часть эстакады поднимают ручной лебедкой 18, а емкость 15 отводят по направляющим 14 в сторону эстакады. При этом скип

перемещают вверх и крепят. Конечный выключатель 17 исключает возможность пуска лебедки привода скипа.

Скип служит для подачи АБ смеси из смесителя в бункер-накопитель или в промежуточный бункер. Он представляет собой бункерную тележку, установленную на осях с катками, и содержит секторный затвор (при разгрузке раскрытием) и пружины для возвращения секторного затвора в исходное положение после открытия. Для подъема и опускания скипа служит лебедка, которая состоит из двигателя, редуктора, барабана и тормоза. Все узлы лебедки крепятся к раме.

Для предотвращения прилипания горячей смеси к кузовам транспортных средств асфальтосмесительные установки могут иметь систему опрыскивания, подающую эмульсионный состав, состоящий из двух частей дизельного топлива и одной части воды. Система опрыскивания включает в себя бак с эмульсией, насос и жиклеры, соединенные гибкими шлангами и установленные на опорах бункера-накопителя и смесительного агрегата.

Существующие асфальтосмесительные установки в большинстве случаев имеют бункеры-накопители вместимостью 30, 50 и 100 т. АБ смесь, находящаяся в бункере, со временем охлаждается (допустимо снижение ее температуры на 25 °С в течение 12–16 ч). Для замедления охлаждения смеси в бункере, кроме того обогрева, герметизируют затворы и обогревают выпускную воронку.

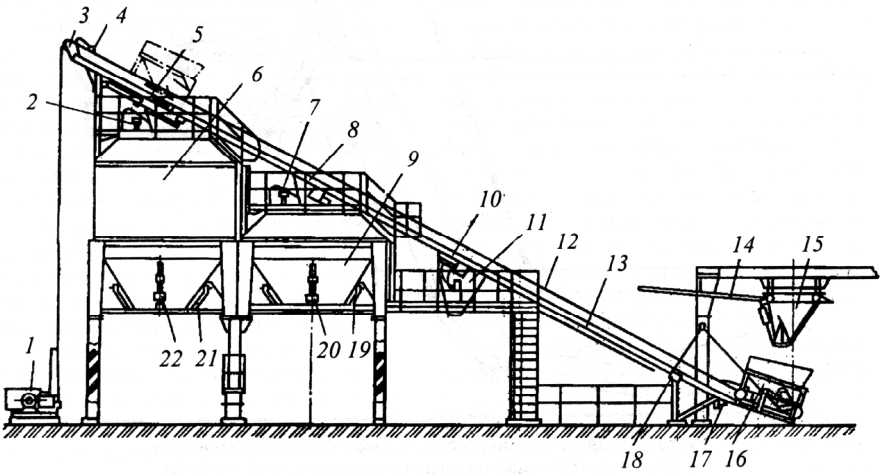


Рисунок 2.17 – Бункер-накопитель готовой смеси:
1, 18 – лебедки; 2, 7 – сигнализаторы уровня; 3 – блок неподвижный;
4 – аварийный ролик; 5, 8 – упоры; 6, 9 – емкости для хранения смеси; 10 – подвижный упор; 11 – лоток; 12 – тяговый канат лебедки; 13 – эстакада; ; 14 – направляющие;
15 – подвижная емкость; 16 – скип; 17 – конечный выключатель; 19, 21 – затворы с электрическим подогревом; 20, 22 – пневмоцилиндры

Агрегат минерального порошка предназначен для приема, временного хранения и подачи заполнителя (минерального порошка) в дозатор минеральных материалов смесительного агрегата. В этих агрегатах используют башенную компоновку оборудования, независимо от типа асфальтосмесительной установки.

Агрегат минерального порошка (рисунок 2.18) *асфальтосмесителя периодического действия* включает силос 6, установленный на портале 1, фильтр 8, аэрирующее устройство 11, секторный затвор-питатель 2, винтовой конвейер 14 с пневмоприводом. Силос 6 представляет собой бункер цилиндрической формы, нижняя часть которого имеет коническое сечение с осмотровым люком и секторным затвором 2, соединенным с приемной горловиной конвейера 14. В верхней части бункера установлены указатели нижнего 10 и верхнего 7 уровней минерального порошка.

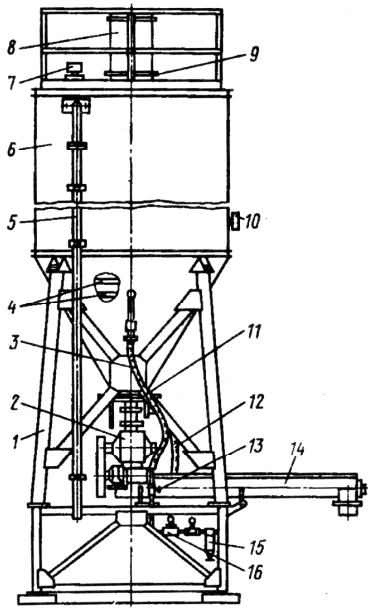


Рисунок 2.18 – Агрегат минерального порошка асфальтосмесителя периодического действия:
1 – портал; 2 – секторный затвор-питатель; 3, 12 – рукава; 4 – побудительные кольца; 5 – трубопровод; 6 – силос; 7, 10 – верхний и нижний уровни порошка; 8 – фильтр; 9, 11 – фланцы; 13, 16 – вентили; 14 – конвейер; 15 – влагомаслоотделитель

Для предотвращения сводообразования минерального порошка в бункере используют его аэрацию воздухом и механические ворошители.

Загрузку минерального порошка в бункер производят через трубопровод 5 из цементовоза посредством сжатого воздуха. Воздух, поступающий в бункер, выходит в атмосферу через фильтр 8.

Для аэрации внутри бункера смонтированы побудительные кольца 4 из труб с отверстиями для выхода воздуха. Отверстия закрыты капроновыми чехлами, не допускающими их закупорку тонкодисперсным минеральным порошком.

К побудительным кольцам подают сжатый воздух из пневмосистемы асфальтосмесителя. Он поступает из компрессора по рукаву 12 через влагомаслоотделитель 15 и вентили 16 и 13.

Из силоса минеральный порошок через затвор-питатель и конвейер 14 подают в многоковшовый элеватор, поднимают и ссыпают в расходный бункер смесительного агрегата.

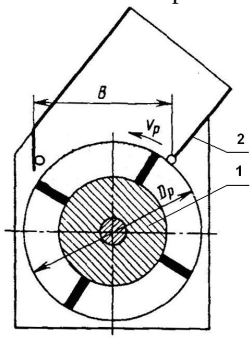


Рисунок 2.19 – Секторный затвор:
1 – лопастной барабан;
2 – корпус

Секторный затвор (рисунок 2.19) является объемным дозировочным устройством для минерального порошка и состоит из лопастного барабана 1 (количество его лопастей определяет точность дозирования), корпуса 2 и привода. Материал, попадая в секторы лопастного барабана, разгружается при его повороте на заданный угол. Для предотвращения самопроизвольного проворачивания барабана под действием силы тяжести материала в лопастном питателе установлен храповый останов. Производительность лопастного питателя определяют наружный диаметр барабана, длина и число лопастей, а также его частота вращения.

Агрегат минерального порошка асфальтосмесителя непрерывного действия обеспечивает не только временное хранение порошка, но и его непрерывное весовое дозирование. На рисунке 2.20 представлена его конструктивная схема.

Загруженный в силос 1 порошок поступает через аэрирующее устройство 2 в дозировочный блок 3, где происходит непрерывное весовое дозирование порошка. Затем по лотку 4 его ссыпают в приемную коробку смесительного агрегата. На рисунке 2.21 приведена конструктивная схема дозировочного блока агрегата минерального порошка. Он состоит из фермы 4 и автоматического весового дозирующего устройства непрерывного действия, который соединяют с силосом через переходной патрубок 5. Дозатор содержит два секторных питателя 6 и 8, которые равномерно подают порошок на весовой ленточный конвейер 10. Весовой конвейер установлен на двух опорах – на подшипниковой опоре 9 и на тензометрическом кольце 7 и уравновешен грузом 2 на коромысле рычажной передачи 1.

Для заданной массы порошка на ленте конвейера устанавливают необходимую скорость ленты и подачу дозатора. При изменении массы на ленте изменяются ее скорость и частота вращения питателя. Скорость ленты измеряют тахогенератором, а массу материала – тензометрическим кольцом 7. При изменении заданного количества порошка на ленте электронная система управления включает вариатор 3 и через цепные передачи 14 и 16 устанавливает нужные параметры работы питателей и конвейера.

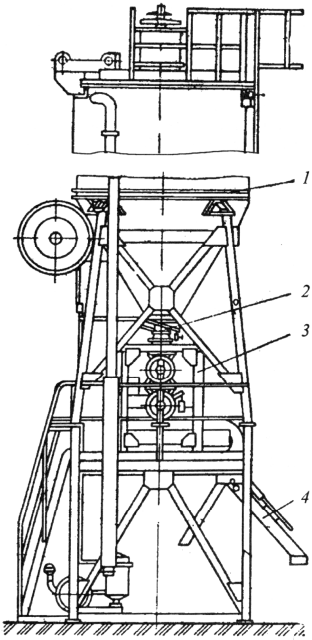


Рисунок 2.20 – Агрегат минерального порошка асфальтосмесителя непрерывного действия:
1 – силос; 2 – аэрирующее устройство; 3 – дозировочный блок;
4 – ссыпной лоток

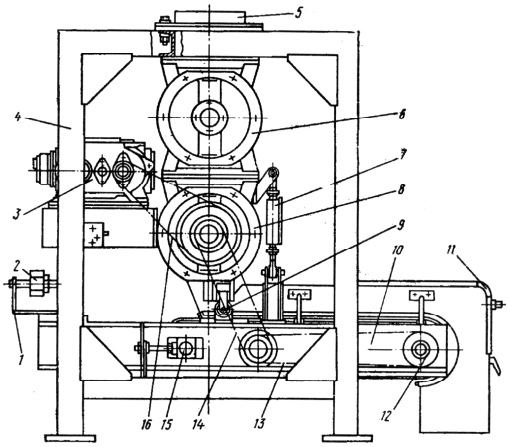


Рисунок 2.21 – Дозировочный блок агрегата минерального порошка:
1 – рычажная передача; 2 – груз; 3 – вариатор;
4 – ферма; 5 – патрубок; 6, 8 – питатели; 7 – тензометрическое кольцо; 9 – опора; 10 – конвейер;
11 – кожух; 12 – звездочка; 13, 14, 16 – цепные передачи;
15 – натяжное устройство

Нагреватель битума предназначен для обезвоживания и нагрева вяжущего материала до рабочей температуры с его последующей перекачкой в дозатор битума смесительного агрегата.

Способ обезвоживания заключается в смешении обводненного (до 1,5 %) вяжущего материала с более горячим обезвоженным материалом и последующем пароотделении битумной смеси.

Основными составными частями нагревателя битума являются цистерна, теплообменник, пароотделитель, насосные установки и топливная система. Цистерна разделена перегородкой на два отсека, сообщающихся между собой под перегородкой, где проходят жаровые трубы. В ее верхней части установлена камера для предотвращения конденсации паров воды внутри цистерны и возврата излишков битума от потребителя. Теплообменник служит для смешения обводненного (предварительно нагретого до состояния текучести битума) с

уже обезвоженным (более горячим битумом). Пароотделитель разбрызгивающего типа представляет собой цилиндрическую горизонтальную обогреваемую камеру, на торцах которой с одной стороны предусмотрено щелевое сопло, а с другой – наклонная перегородка. Топливная система включает в себя выносную топку с форсункой, обогреваемую емкость для мазута, топливный насос, регулятор давления, электронагреватель, вентилятор и топливопроводы.

Пневмосистема служит для подачи сжатого воздуха к исполнительным механизмам. Принцип ее работы состоит в следующем. Сжатый воздух, поступающий из компрессора, проходит через фильтры-влагоотделители и масловлагоотделители, где очищается от влаги и масла, и поступает в маслораспылители, захватывает определенное количество капель масла и подает их для смазки во внутренние полости четырехходовых пневматических распределителей и пневмоцилиндров.

Пневматический распределитель направляет воздух в одну из полостей пневматического цилиндра, а вторую полость сообщает с атмосферой. Для поступления воздуха в другую полость пневмоцилиндра на обмотку пневматического распределителя подают напряжение. При этом полость пневмоцилиндра, ранее связанная с воздушной магистралью, сообщается с атмосферой, шток пневмоцилиндра занимает крайнее положение и приводит в движение пробки битумных кранов, секторные затворы или другие механизмы.

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

Насосные станции и технологические трубопроводы. В системе технологического оборудования асфальтосмесительных установок работа битумных насосов должна быть согласована с производительностью дозирующих устройств.

В конструкциях асфальтосмесителей наибольшее распространение получили битумные насосы шестеренчатого типа. Шестеренчатый битумный насос состоит из металлического корпуса с паровой (масляной) рубашкой для обогрева, внутри которого размещены шестерни на валах, вращающихся в подшипниках. Перекачиваемая жидкость (горячий битум), поступая из приемного трубопровода, заполняет пространство между зубьями и под давлением выдавливается ими в напорный трубопровод. Привод насоса осуществляют через редуктор от электродвигателя. При изменении направления вращения изменяется направление потока перекачиваемой жидкости.

Кроме простоты реверсирования, достоинством шестеренчатых насосов является надежность работы в условиях высоких температур (при использовании чугуна в качестве материала корпуса).

В таблице 2.3 представлены технические характеристики наиболее распространенных битумных насосов отечественного производства.

Таблица 2. 3 – **Технические характеристики битумных насосов**

Показатель	ДС-3А	ДС-134	ДС-125	НБП-63	НБП-125	НБП-250	НБП-500	НБП-750
П, л/мин	400	500	500	63	125	250	500	750
p, МПа:								
$p_{ном}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$p_{макс}$	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Т	Пар			Электроэнергия				
N, кВт	4,4	10,0	10,0	1,1	1,1	1,1	2,5	3,0
d, мм:								
$d_{вс}$	75	80	80	40	40	70	80	100
$d_{наг}$	75	80	80	40	40	70	80	100
Габариты, мм:								
длина	410	1090	415	290	290	330	390	410
ширина	390	435	410	365	365	420	480	505
высота	415	613	512	208	208	248	274	298
Масса, кг	98	430	128	–	–	–	–	–

Примечание – П – производительность; *p* – давление (номинальное и максимальное); Т – теплоноситель; *N* – мощность привода; *d* –диаметр патрубка (всасывающего и нагнетательного).

Для перекачки мазута, который используют в качестве энергоносителя в топочном агрегате или нагревателях битума, также применяют насосы шестеренчатого типа.

Для нагрева битума до рабочей температуры (100–200 ^{0}С), ее поддержания в расходных емкостях, а также обогрева битумо- и топливопроводов при перекачке битума и мазута применяют специальные теплообменные устройства. Их можно классифицировать по виду теплоносителя: *с паровым, прямым огневым* (дымовыми газами) и *косвенным жидкостным нагревом* («прямым огнем» нагревают промежуточный жидкий теплоноситель), а также *с электрическим обогревом.*

При прямом обогреве применяют жаровые трубы, нагреваемые горячими газами, которые образуются при сжигании жидкого или газообразного топлива, либо различные электронагреватели. *При косвенном обогреве* применяют промежуточный теплоноситель (обычно водяной пар). Прямой разогрев вяжущего наиболее прост для переноса тепла, но менее экономичен по сравнению с косвенным нагревом.

Широкое распространение получили установки и системы *косвенного жидкостного разогрева* битума, битумных коммуникаций и оборудования, в которых жидкий теплоноситель разогревают *огневым или электрическим способом.* Для этих целей используют специальные теплообменные устройства, объединенные с обогреваемой цистерной, а также автономные теплообменники.

Основными достоинствами систем с косвенным обогревом являются возможность нагрева битума при его любом уровне в цистерне, полное исключение опасности коксования, а также возможность полной выработки емкости резервуара. Вместе с тем, продолжительность разогрева вяжущего

в резервуарах с косвенным обогревом значительно больше, чем в системах с прямым обогревом.

Система пылеулавливания. При работе асфальтосмесителя имеют место запыленность и загазованность воздуха на территории АБЗ и в окружающей зоне. В асфальтосмесительном оборудовании имеется несколько очагов интенсивного пылеобразовании – сушильные барабаны, горячие элеваторы, грохоты, дозаторы и смесители.

При работе сушильных агрегатов в процессе просушивания минеральных материалов отделяются мельчайшие фракции пыли, которые выносятся из сушильного барабана потоком отходящих газов. Скорость движения горячих газов на выходе из барабана составляет 10 м/с. При такой скорости, кроме мельчайших частиц пыли, выносится значительное количество частиц размером до 0,5 мм, которое может составлять 6–8 % массы просушиваемого минерального материала, что соответствует запыленности выбрасываемых газов 300–400 г/м^3. Поэтому агрегаты асфальтосмесителей оборудуют пыленепроницаемыми кожухами, а щели в их металлоконструкциях уплотняют. Тем не менее, необходимо отсасывать воздух из-под кожухов, чтобы создавать разрежение и исключать пыление при работе механизмов.

Уровень загазованности и запыленности рабочей зоны асфальтосмесительной установки регламентируют требования действующих санитарных норм, согласно которым содержание окиси углерода не должно превышать 500 мг/м^3, а двуокиси кремния (пыли) – не более 100 мг/м^3. Снижение содержания окиси углерода в дымовых газах возможно путем перевода топочного агрегата сушильного барабана с мазута на природный газ, а также применения горелок, обеспечивающих наиболее полное сгорание топлива. Для очистки дымовых газов, удаляемых из сушильного барабана и других механизмов асфальтосмесительных установок, от пыли используют пылеулавливающие системы. Пыль, собираемую в бункерах пылеулавливающих систем, можно подавать в горячий элеватор или сушильный барабан асфальтосмесителя и использовать как минеральный материал при приготовлении асфальтобетонных смесей.

К мерам по борьбе с пылевыделением следует также отнести использование в качестве исходного сырья промытых минеральных материалов. С этой же целью уменьшают скорость отходящих газов за счет увеличения диаметра сушильных барабанов.

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

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

Очистка дымовых газов в циклонах. Циклон (рисунок 2.22) пред-

ставляет собой вертикальный полый цилиндр 1, суживающийся на конус в нижней части. По оси цилиндра расположена цетральная труба 2 с открытыми торцами.

Пылевоздушная смесь входит в циклон через входной патрубок 4 по касательной к окружности цилиндрического корпуса (со скоростью до 20 м/с) и опускается вниз по винтовой линии. Под действием центробежных сил частицы материала отбрасываются к стенкам, тормозятся о них и ссыпаются в приемный бункер 5, где через пылевой затвор периодически отводятся из циклона. Очищенный в циклоне воздух доходит до нижнего края трубы 2 и по ней отсасывается в атмосферу через газовыводящую улитку 3.

Циклон улавливает до 95–98 % частиц пыли размером 10–20 мкм.

Его эффективность очистки воздуха повышается с уменьшением диаметра корпуса циклона, поскольку при этом растут центробежные силы, действующие на частицы. Однако при этом падает производительность из-за увеличения внутренних сопротивлений. Поэтому для обеспечения большой производительности объединяют несколько небольших циклонов в батареи, имеющие общий бункер для сбора пыли. Преимуществами таких мультициклонов являются малые габариты, большая производительность и возможность простого управления за счет отключения отдельных батарей при изменении объема поступающего газа. К недостаткам следует отнести высокое гидравлическое сопротивление (около 1 кПа), что требует повышенной производительности дымососа.

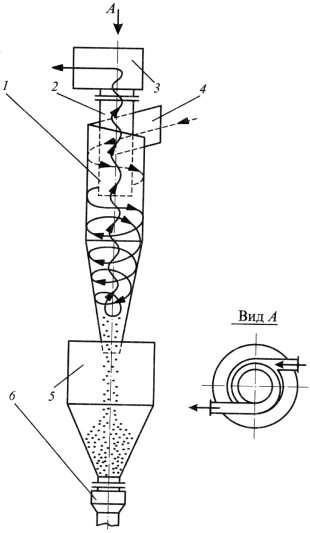


Рисунок 2.22 – Схема циклона сухой очистки:
1 – корпус; 2 – центральная труба; 3 – газовыводящая улитка; 4 – входной патрубок; 5 – приемный бункер; 6 – пылеотводящее устройство

Мокрая очистка дымовых газов. Для отделения мельчайших частиц пыли (менее 10 мкм) применяют *мокрое обеспыливание*, которое считают более эффективным в сочетании с циклонами, которые предварительно улавливают более крупные частицы.

Действие аппаратов мокрой очистки газов основано на захвате частиц пыли жидкостью, уносящей их в виде шлама. Процессу улавливания пыли в мокрых пылеулавливателях способствует конденсационный эффект – укрупнение частиц пыли за счет конденсации на них водяных паров. Поскольку в этих аппаратах процесс пылеочистки обычно сопровождается процессами абсорбции и охлаждения газов, их применяют как для очистки газообразных составляющих, так и в качестве теплообменных аппаратов. Часто аппараты мокрой очистки газов используют в качестве предварительной ступени перед аппаратами других типов.

По способу действия аппараты мокрой очистки, применяемые в конструкциях асфальтосмесителей, разделяют на группы:

1) *барботажные аппараты (барботеры*) – в них запыленный газ проходит через слой жидкости в виде пузырьков, на поверхности которых и происходит осаждение частиц пыли;

2) *пылеулавливатели ударно-инерционного действия* – представляют собой вертикальную колонну, в нижней части которой находится слой жидкости. При ударении запыленного газового потока о слой жидкости и его повороте в обратном направлении частицы пыли осаждаются на поверхности воды;

3) *мокрые аппараты центробежного действия* – в них запыленный газовый поток очищают тангенциальным подводом в корпус аппарата, стенки которого орошаются форсунками;

4) *скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури)* – в трубе Вентури с высокой скоростью движется газовый поток и дробит орошающую его жидкость на капли, на которых осаждается пыль и образуется шлам, удаляемый из аппарата.

Основными преимуществами мокрых пылеулавливателей перед циклонами являются высокая эффективность и малая занимаемая площадь. К недостаткам относятся эксплуатация только при положительных температурах, необходимость устройства специальных очистных сооружений из-за сложности удаления оседающей грязи, а также коррозия коммуникаций из-за воздействия серной кислоты, образующейся при взаимодействии серы дымовых газов с водой.

К установкам мокрого обеспыливания предъявляют жесткие требования. Они должны иметь высокий КПД и небольшие габариты, простой способ удаления грязи (шлама) при минимальном расходе воды, высокие показатели износостойкости и коррозионной устойчивости деталей, входящих в соприкосновение со смесью пыли и воды, возможность применения в передвижных смесителях, а также простоту обслуживания.

На рисунке 2.23 представлен один из вариантов конструкции двухступенчатой пылеулавливающей установки с устройствами сухого и мокрого обеспыливания отходящих газов сушильного барабана.

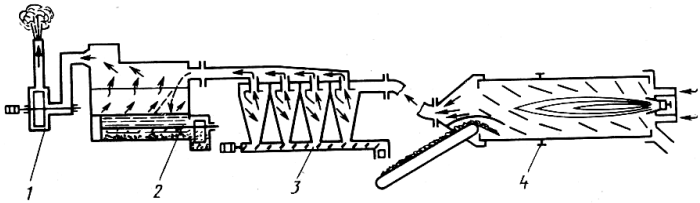


Рисунок 2.23 – Схема двухступенчатой пылеулавливающей установки:
1 – дымосос; 2 – устройство мокрого пылеулавливания; 3 – циклон батарейного типа; 4 – сушильный агрегат

Вариант схемы мокрого пылеулавливания, приведенной на рисунке 2.24, эффективно работает в сочетании с циклоном батарейного типа. Нижняя часть корпуса аппарата представляет собой резервуар, заполненный водой. Остальное пространство разделено перегородкой на две части: входную камеру загрязненного воздуха и выходную камеру очищенного воздуха, причем нижние края перегородки по всей длине камеры погружены в воду. Обе камеры аппарата связаны профилированным воздухоочистным каналом (импеллером). Запыленный воздух, который засасывает дымосос через входной патрубок, проходя через импеллер, подхватывает и несет с собой часть воды из резервуара. Скорость воздуха в импеллере такая, что захваченная вода вначале движется по нижней направляющей импеллера, далее отбрасывается к его верхней направляющей и при выходе ниспадает в виде сплошной водяной завесы, а затем возвращается в резервуар. Вода циркулирует только за счет движения воздушного потока, что не требует дополнительных устройств (насосов или эжекторов).

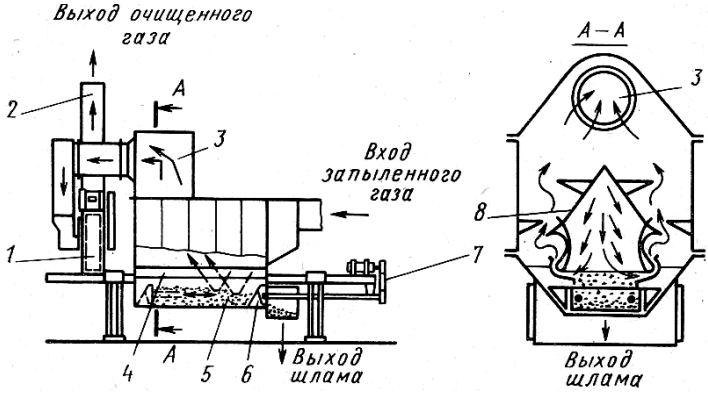


Рисунок 2.24 – Схема мокрого пылеулавливателя:
1 – дымосос; 2 – дымовая труба; 3 – выход газа из пылеуловителя;
4 – камера смачивания пыли; 5 – шлам; 6 – заслонка; 7 – привод заслонки; 8 – импеллер

Дымовые газы очищаются в аппарате за счет совместного действия инерционных сил на частицы пыли и перемешивания потока запыленного воздуха с водой. Очищенный воздух, проходя через каплеуловитель, освобождается от капель воды. Пыль, уловленная водой, собирается в нижней части резервуара, а затем удаляется из него.

Производительность аппарата определяется длиной импеллера. Расход воды, необходимый для нормальной работы мокрого пылеулавливателя рассмотренного типа, незначителен, и установка может работать продолжительное время без добавления воды.

Другой распространенной конструкцией мокрого пылеулавливателя является пылеулавливатель барботажного типа (рисунок 2.25). Работа данной конструкции основана на пропускании запыленных газов через слой воды. Газопылевой поток подают дымососом-вентилятором под давлением (со скоростью 10–12 м/с) через входной патрубок 11 в расположенные под водой каналы пылеулавливателя. В них частицы пыли, адсорбируя воду, намокают, ударяются о лопасти 3 и 5 и под действием силы тяжести опускаются в шламовую ванну 1. Очищенные дымовые газы через дымовой канал 8 и дымовую трубу 9 выходят в атмосферу. Для очистки шламовой ванны применяют скребковый конвейер 13 с приводом 15. Степень очистки составляет: до 90 % для частиц пыли размером 1–10 мкм и до 99,5 % – размером более 10 мкм.

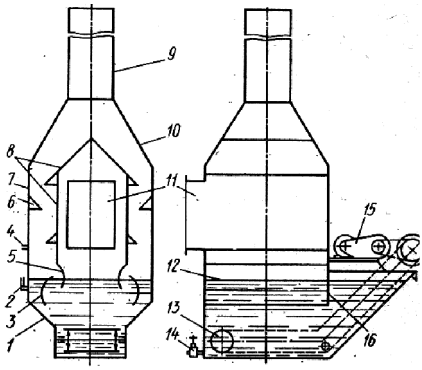


Рисунок 2.25 – Барботажный пылеулавливатель:
1 – шламовая ванна; 2 – патрубок контроля уровня воды; 3 – внешние завихряющие лопасти; 4 – патрубок подачи воды; 5 – внутренние завихряющие лопасти; 6 – брызгоотделительные козырьки; 7 – корпус пылеочистителя; 8 – внутренний дымовой канал; 9 – дымовая труба; 10 – переходной патрубок; 11 – ввод дымовых газов; 12 – уровень шлама; 13 – скребковый конвейер; 14 – кран слива шлама; 15 – привод скребкового конвейера; 16 – водяной затвор

В конструкциях современных асфальтосмесительных установок в качестве мокрых пылеулавливателей используют также скрубберы Вентури (рисунок 2.26).

Скруббер Вентури состоит из дымососа 7, входного патрубка 6, диффузора с системой разбрызгивания воды 5, выходного патрубка 4 с системой центробежного осаждения 3, циклона-каплеуловителя 2, дымовой трубы 1, патрубка слива шлама 11, шламоотстойника 10 с трубопроводом 9 подпитки отстойника водой и трубопроводом сброса шлама 8. Шлам через трубопровод 8 сливается в отвал или на переработку. В этом скруббере возможна очистка газов с начальной запыленностью до 5–6 г/м^3. Скорость газа в месте сужения трубы (горловине скруббера) составляет 100–200 м/с, а в некоторых установках – до 1200 м/с. При такой скорости очищаемый газ разбивает на мельчайшие капли завесу жидкости, впрыскиваемой по периметру трубы. Это приводит к интенсивному столкновению частиц газа с каплями воды и их улавливанию под действием сил инерции в установленном после

скруббера циклоне-каплеуловителе. Скруббер обеспечивает улавливание частиц пыли размером 0,01–0,35 мкм – на 50–85 % и частиц пыли размером 0,5–2,0 мкм – на 97 %, что позволяет считать его наиболее эффективным аппаратом мокрого типа.

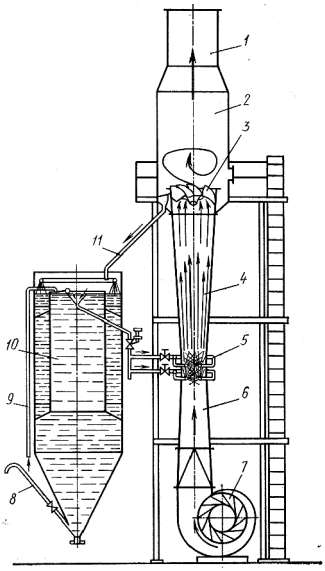


Рисунок 2.26 – Скруббер Вентури:
1 – дымовая труба; 2 – циклон-каплеуловитель; 3 – система центробежного осаждения; 4 – выходной патрубок; 5 – диффузор; 6 – входной патрубок; 7 – дымосос; 8, 9 – трубопровод; 10 – шламоотстойник;
11 – патрубок слива шлама

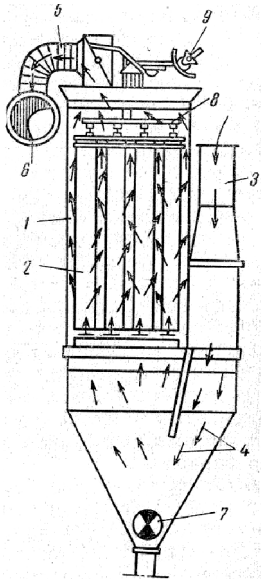


Рисунок 2.27 – Рукавный фильтр:
1 – корпус; 2 – матерчатый рукав; 3 – труба; 4 – короб; 5 – патрубок; 6 – воздуховод; 7 – винтовой транспортер; 8 – рамка; 9 – встряхивающий механизм

Главным недостатком скруббера Вентури является большой расход энергии по преодолению высокого гидравлического сопротивления, которое в зависимости от скорости газа в горловине составляет 0,002–0,013 МПа.

Очистка дымовых газов с помощью рукавных фильтров. В качестве систем очистки дымовых газов часто используют рукавные фильтры, которые обеспечивают улавливание пыли размером 0,01–0,03 мм со степенью очистки до 95–97 %. Применение огнестойких тканей в качестве фильтрующих материалов позволяет очищать дымовые газы, имеющие температуру до 200 ^{o}C.

В матерчатом рукавном фильтре (рисунок 2.27) запыленный газ поступает по трубе 3 в короб 4, оттуда поднимается в открытые снизу матерчатые рукава 2. Проходя сквозь поры ткани, газ очищается, а пыль оседает на стенках. Рукава, собранные в секции, размещаются в корпусе 1. Очищенный газ собирается в верхней части кожуха и отводится через патрубок 5 в общий воздуховод 6. Для очистки от осевшей пыли рукава периодически встряхиваются, для чего они подвешены к рамке 8, которая соединена со встряхивающим механизмом 9. Пыль, осевшая в коробе, удаляется из него винтовым транспортером 7.

Пылеулавливающие системы наиболее распространенных моделей асфальтосмесительных установок включают две–три ступени очистки, представляющие комбинацию циклонов, мокрых пылеулавливателей или рукавных фильтров.

Электрическая очистка дымовых газов является наиболее совершенной (степень очистки доходит до 99 %) и универсальной, поскольку позволяет очищать не только описанные ранее среды, но и горячие агрессивные газы.

Сущность метода состоит в том, что молекулы газа (с взвешенными в нем частицами пыли), проходя через электрическое поле коронного разряда, ионизируются в нем, за счет чего частицы пыли получают электрический заряд и притягиваются к осадительному электроду, потенциал которого имеет противоположный знак.

На рисунке 2.28 представлена схема трубчатого электрического фильтра. Очищаемые газы подводят по приемной трубе 1 в трубы 2 осадительных электродов. Коронирующие электроды 3 подвешены к верхней и нижней рамкам 4 и 6, которые опираются на изоляторы 5 и 7. Между коронирующими и осадительными электродами создают электрическое поле (напряжением 35–70 кВ). При прохождении запыленного газа в поле коронного разряда по трубам частицы пыли получают заряд от ионов газа и осаждаются на трубчатых электродах 2. Для сброса осевшей пыли с электродов их периодически встряхивают молотками 8 и 9.

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

1) предварительного дозирования и подачи в сушильный агрегат минеральных материалов;

2) просушивания и нагрева до рабочей температуры минеральных материалов;

3) сортировки минеральных материалов;

4) взвешивания минеральных заполнителей и минерального порошка;

5) дозировки битума;

6) подачи в смеситель отдозированных минеральных компонентов и вяжущего;

7) перемешивания асфальтобетонной смеси;

8) выдачи смеси в скип или транспортное средство;

9) загрузки смеси в бункер-накопитель.

Автоматизированные системы управления современных асфальтосмесителей на базе микропроцессорной техники контролируют весь технологический процесс приготовления АБ смесей, регулируя режимы технологических операций с учетом заданных рецептур. В состав работ по контролю, регулированию и управлению входят следующие мероприятия:

1) бесперебойная автоматизированная работа всех узлов и агрегатов в запыленной, абразивной и агрессивной средах, а также в условиях вибрации;

2) последовательное автоматическое взвешивание отдельных фракций минеральных материалов по заданному рецепту и одновременное дозирование вяжущих материалов;

3) приготовление асфальтобетонных смесей по любому заданному рецепту с возможностью быстрой перестройки рецептуры;

4) соблюдение продолжительности перемешивания согласно установленному технологическому режиму;

5) автоматическая выдача заданного количества готовой асфальтобетонной смеси;

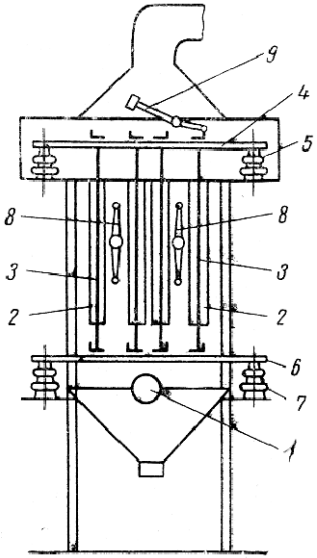


Рисунок 2.28 – Трубчатый электрический фильтр:
1 – приемная труба; 2 – трубы осадительных электродов; 3 – коронирующие электроды; 4, 6 – рамки; 5,7 – изоляторы; 8, 9 – молотки

6) блокировка механизмов в случае неисправности отдельных агрегатов;

7) дистанционное наблюдение и оперативное воздействие оператора на режим работы всех механизмов смесителя с центрального пульта управления;

8) переход с автоматического управления на ручное и обратно.

Более подробно автоматизированные системы управления рассмотрены в разд. 9.

2.3 Передвижные асфальтосмесительные установки

Передвижные асфальтосмесители эффективны при небольших объемах работ, а также при удаленности объекта производства от стационарных асфальтосмесительных установок. В соответствии с этим они должны иметь компактную конструкцию, невысокую стоимость, максимальную мобильность при минимальной трудоемкости монтажных и демонтажных работ, а также обеспечивать возможность выпуска различных типов асфальтобетонных смесей.

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

Асфальтосмесители первой группы обычно устанавливают на двухосных прицепах и транспортируют грузовыми автомобилями. В рабочем положении асфальтосмеситель опирается на винтовые домкраты. Основными узлами такого асфальтосмесителя являются рама, загрузочные устройства, сушильный барабан, дозирующие устройства, смеситель, расходные емкости для хранения топлива и вяжущего материала. Для загрузки минеральных материалов используют ковшовые элеваторы. Дозирование материалов осуществляют объемным способом. В данных асфальтосмесителях применяют смесители принудительного типа, периодического или непрерывного действия. Привод механизмов может быть от дизельного двигателя, а также от собственной генераторной установки или от внешней электросети.

Асфальтосмесители второй группы состоят из двух, трех или более агрегатов, базирующихся на прицепах или полуприцепах к грузовым автомобилям, и включают в себя узлы, аналогичные узлам стационарных асфальтосмесителей.

В союзном государстве выпускают небольшой ассортимент передвижных асфальтосмесителей.

Особенности технологических процессов приготовления АБ смесей на установках периодического и непрерывного действия можно проанализировать по рисунку 2.29, на котором представлены асфальтосмесители башенного и партерного типа.

На первом этапе подготовка компонентов не зависит от типа установки. Со склада минеральных материалов песок и щебень в исходном состоянии подают в бункеры агрегата питания 1, в котором их непрерывно дозируют в соответствии с требуемой подачей. Затем их подают многоковшовым конвейером 2 в барабан сушильного агрегата 3, в котором щебень и песок высушивают и нагревают до заданной температуры. Нагрев производят сжиганием в топках сушильных агрегатов жидкого (из бака 13) или газообразного топлива. Горячие газы и пыль отводят в атмосферу через пылеулавливающие устройства сухой 18 и мокрой 19 очистки.

а)

б)

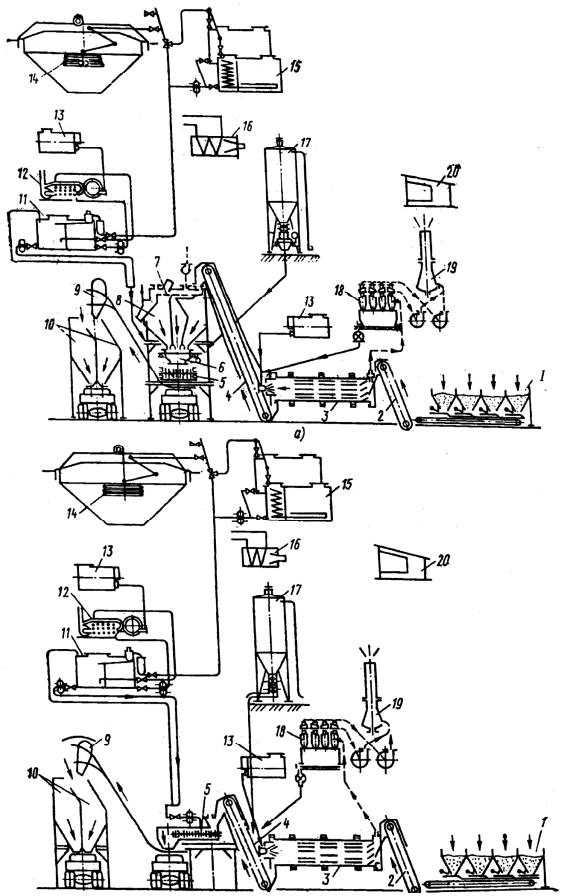


Рисунок 2.29 – Схемы процессов приготовления АБ смесей на передвижных установках башенного (*а*) и партерного (*б*) типа:
1 – агрегат питания; 2 – элеватор; 3 – сушильный агрегат; 4 – конвейер; 5 – смеситель лопастной; 6 – дозатор; 7 – сортировочное устройство; 8 – бункер; 9 – ковш скипового подъемника; 10 – бункер готовой смеси; 11 – нагреватель битума; 12 – нагреватель трубчатый; 13 – бак с жидким топливом; 14 – нагревательно-перекачивающий агрегат; 15 – цистерна с битумом; 16 – нагреватель; 17 – агрегат минерального порошка; 18 – пылеулавливающее устройство сухой очистки; 19 – пылеулавливающее устройство мокрой очистки; 20 – кабина

Следующие этапы уже зависят от типа установки. В установке периодического действия башенного типа (рисунок 2.29, *а*) нагретый минеральный материал подают конвейером 4 в сортировочное устройство 7 смесительного агрегата для распределения по фракциям. Каждая фракция попадает в отдельный отсек бункера 8. Под бункером размещают автоматиче-

ский весовой дозатор 6 периодического действия, в котором последовательно взвешивают отдельные фракции щебня и песок (в соответствии с заданной рецептурой смеси) и подают в лопастной смеситель 5.

В установке непрерывного действия партерного типа (рисунок 2.29, *б*) нагретый минеральный материал поступает с конвейера 4 непосредственно в смеситель 5 непрерывного действия. В этом смесителе предварительно отдозированные компоненты смеси перемещаются непрерывным потоком от загрузочного к разгрузочному концу, снабженному бункером, днище которого перекрывает затвор.

Мобильность передвижных установок находит отражение в конструкциях основных агрегатов. На рисунке 2.30 представлена конструктивная схема передвижного агрегата питания, выполненного в виде двухосного безрессорного прицепа, оснащенного пневмоколесным ходовым оборудованием. На раме 6 прицепа размещают бункеры 1, закрытые сверху стальными решетками во избежание попадания негабарита. На боковой стенке каждого бункера устанавливают вибрационный сводообрушитель 2. Под каждым бункером устанавливают питатель 8, который обеспечивает дозирование и подачу равномерным потоком минерального материала (щебня и песка) на ленту собирающего конвейера 7. Для этих целей применяют различные типы питателей. В их числе лотковые электровибрационные и ленточные питатели непрерывного действия. Производительность питателей регулируют из кабины управления асфальтосмесителя.

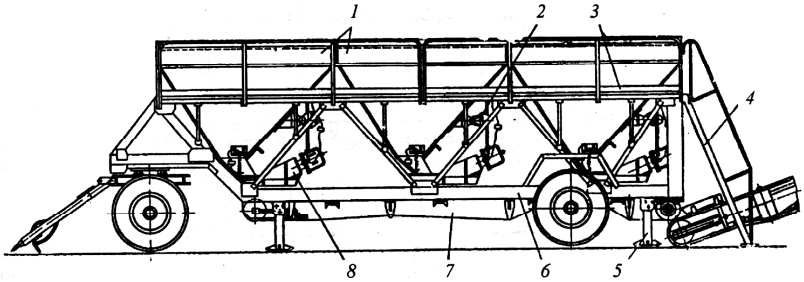


Рисунок 2.30 – Передвижной трехсекционный агрегат питания:
1 – бункеры; 2 – сводообрушитель; 3 – смотровая площадка; 4 – лестница; 5 – выносная опора; 6 – рама; 7 – конвейер; 8 – питатель

Передвижной сушильный агрегат асфальтосмесителя непрерывного действия также изготовлен в виде отдельного прицепа на пневмоколесном ходу (рисунок 2.31). Раму 10 устанавливают на ходовые тележки 6 и 13 и оснащают сушильным барабаном 3 с приводом вращения 9, загрузочной 2 и разгрузочной 4 коробками и топочным устройством 5. Кроме того, перед загрузочной коробкой устанавливают весовое устройство 1 для контроля работы питателей агрегата питания асфальтосмесителя. Сушильный барабан мобильной

установки принципиально не отличается от барабана стационарного агрегата. Он представляет собой набор подъемно-транспортных лопастей, которые обеспечивают непрерывное перемешивание и перемещение компонентов минерального материала от загрузочной к разгрузочной коробке. При этом происходят нагрев и сушка материала в основном за счет движения горячих газов и контакта с нагретыми элементами барабана.

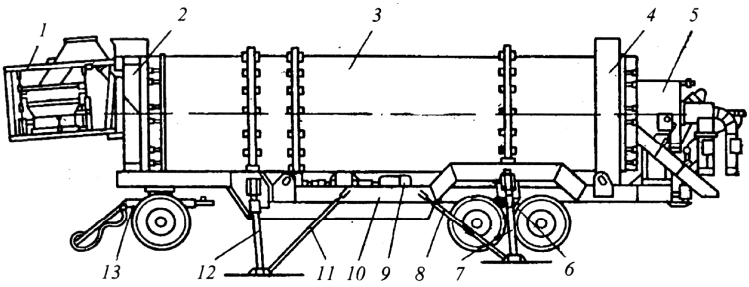


Рисунок 2.31 – Передвижной сушильный агрегат:
1 – весовое устройство; 2 – загрузочная коробка; 3 – барабан; 4 – разгрузочная коробка; 5 – топочное устройство; 6, 13 – тележки; 7,12 – опорные стойки; 8, 11 – раскосы; 9 – привод; 10 – рама

Привод 9 вращения сушильного барабана осуществляют от электродвигателя через редуктор и механическую передачу. Для этого используют открытую зубчатую, цепную или фрикционную передачу. В последнем случае вращение барабану передают через опорные ролики.

Передвижной пылеулавливающий агрегат, представленный на рисунке 2.32, также имеет пневмоколесное ходовое устройство, на котором смонтирована рама 1. На раме установлено три пылеулавливающих устройства: циклон 9 рециркуляции, батарейный циклон 4 и барботажно-вихревое устройство мокрой очистки 2. Их используют для того, чтобы создать разрежение в кожухах агрегатов асфальтосмесительного оборудования и тем самым снизить пыление до действующих санитарных норм.

Горячий газ и пыль из сушильного барабана поступают в дымосос 8, из которого часть газов отводят по трубе 7 в циклон 9 для первичной очистки от крупных частиц. Далее очищенные газы возвращаются в дымосос по трубе 6 в дымосос 8 и затем общим газовым потоком направляются по трубе 5 в батарейный циклон 4 (вторую ступень очистки). Из циклона 4 газы попадают в барботажно-вихревое пылеулавливающее устройство мокрой очистки 2 и затем уже очищенные через дымовую трубу 3 выходят в атмосферу (на высоте около 17 м).

Сухая пыль, собранная в устройствах первой и второй ступеней очистки, поступает на винтовой конвейер 10 и через элеватор отводится в бункер для повторного использования.

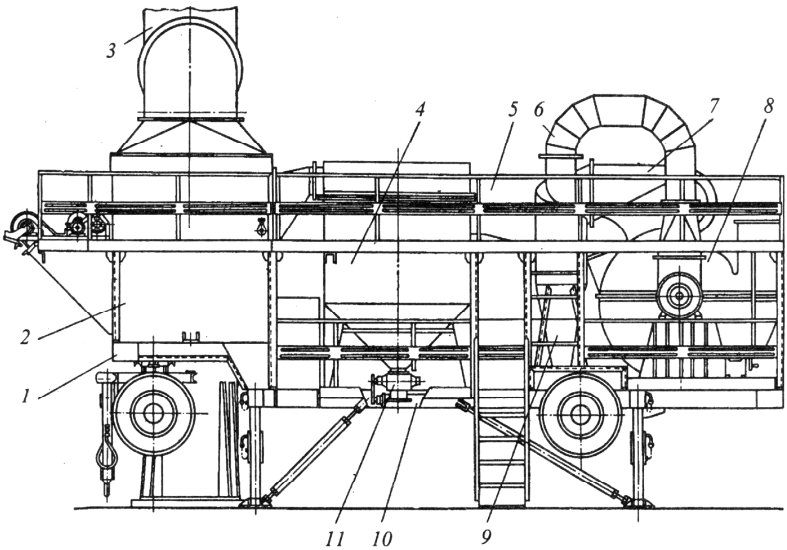


Рисунок 2.32 – Передвижной трехступенчатый пылеулавливающий агрегат:
1 – рама; 2 – барботажно-вихревое пылеулавливающее устройство мокрой очистки; 3 – дымовая труба; 4 – батарейный циклон; 5, 6, 7 – трубы; 8 – дымосос; 9 – циклон рециркуляции; 10 – винтовой конвейер; 11 – затвор-питатель

Расчет основных параметров асфальтосмесительных установок

Для асфальтосмесительных установок циклического действия техническую производительность (т/ч) можно определить по формуле

$$П_{тех} = 60M / (1000t), \qquad (2.1)$$

где M – масса одного замеса, кг;

t – полное время цикла, мин;

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

t_1 – время, необходимое для загрузки смесителя, мин;

t_2 – время, необходимое для перемешивания, мин;

t_3 – время, необходимое для разгрузки замеса, мин.

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

Эксплуатационная сменная производительность (т/ч) асфальтосмесителя

$$П_э = к_в T П_{тех} = 60 к_в M T / (1000 t) , \quad (2.2)$$

где T – количество часов работы в смену, ч;

$к_в$ – коэффициент использования асфальтосмесителя по времени, $к_в$ = = 0,85…0,90.

Для асфальтосмесительных установок непрерывного действия техническую производительность (м^3/ч) определяют по формуле

$$П_{тех} = 3600 F \upsilon_{ос} , \quad (2.3)$$

где F – площадь поперечного сечения материала в смесительном барабане, м^2;

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

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

Объем сушильного барабана (м^3) определяют по заданной производительности:

$$V_б = П_б / A , \quad (2.4)$$

где $П_б$ – производительность барабана, кг/ч;

A – количество влаги, удаляемой из 1 м^3 барабана за 1 ч, A =125…250 кг/(м^3·ч).

Длину барабана (м) определяют из выражения

$$L_б = m h_{ср} t n \operatorname{tg} \alpha , \quad (2.5)$$

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

$h_{ср}$ – средняя высота подъема,

$h_{ср} = 0{,}6 D_б$ ($D_б$ – диаметр барабана, м);

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

n – частота вращения барабана, зависящая от его диаметра, n = 8…16 об/мин при окружной скорости υ = 0,75…0,85 м/с; α – угол наклона барабана к горизонту, α = 3…5^0.

Диаметр барабана (м) выбирают с учетом соотношения

$$\frac{D_б}{L_б} = \frac{1}{4} ... \frac{1}{7} . \quad (2.6)$$

Окончательно значения $D_б$ и $L_б$ определяют в результате теплового расчета.

Частоту вращения барабана (об/мин) после определения $L_б$ уточняют по формуле

$$n = L_б / (m t h_{ср} \operatorname{tg} \alpha) . \qquad (2.7)$$

При работе сушильного барабана мощность силовой установки затрачивается на преодоление следующих сил сопротивления (рисунок 2.33):

– трению качения бандажей по роликам $W_б$;

– трению в цапфах опорных роликов $W_ц$;

– подъему материала внутри барабана $W_п$.

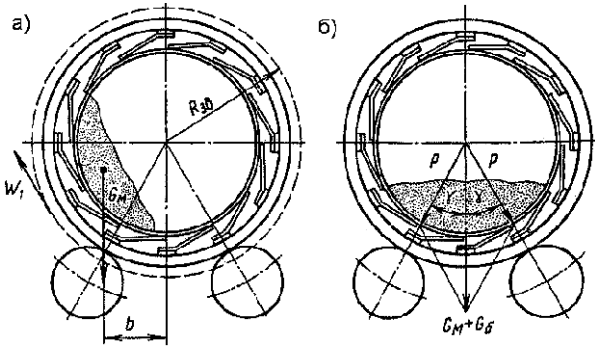


Рисунок 2.33 – Схема сил для расчета сушильного барабана:
а – сопротивление подъему материала при вращении барабана;
б – распределение давления на опорные ролики при неподвижном барабане

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

$$P = (G_м + G_б) / (z_р \cos \gamma) ,$$

где $G_м$ – сила тяжести материала в барабане, Н;

$G_б$ – сила тяжести барабана, Н;

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

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

Сила тяжести материала (Н) в барабане

$$G_м = \beta \rho_м g \frac{\pi D_б L_б}{4},$$

где β – коэффициент заполнения барабана материалом; β = 0,1…0,2;

$\rho_м$ – плотность высушиваемого материала, $\rho_м$ = 1700 кг/м^3;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

$D_б$ и $L_б$ – диаметр и длина барабана, м.

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

$$P_б = \frac{P}{2\cos\alpha} = \frac{G_м + G_б}{2 z_р \cos\gamma \cos\alpha}$$

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

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

$$W_б = \frac{к_1 (G_м + G_б)(R_{бнд} + r)}{R_{зв} r \cos\gamma}, \qquad (2.8)$$

где $к_1$ – коэффициент трения качения бандажа по ролику, м;

$R_{бнд}$ – радиус бандажа, м;

r – радиус опорного ролика, м;

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

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

$$W_ц = \frac{к_2 (G_м + G_б) r}{r_о R_{зв} \cos\gamma}, \qquad (2.9)$$

где $к_2$ – коэффициент трения качения подшипника опорного ролика, м;

$r_о$ – радиус цапфы опорного ролика, м.

Силу сопротивления подъему материала $W_п$ лопастями вращающегося барабана определяют из условия равенства моментов сил, действующих на барабан при подъеме материала:

$$M_п = G_м b = W_п R_{зв},$$

откуда

$$W_{п} = G_{м} b / R_{зв} \,, \qquad (2.10)$$

где $M_{п}$ – момент сил на подъем материала, Н·м;

$G_{м}$ – сила тяжести материала в барабане, Н;

b – плечо силы тяжести материала относительно вертикальной оси барабана, м.

Величина смещения b центра масс материала относительно оси барабана зависит от его режима работы, определяемого частотой вращения барабана (рисунок 2.34).

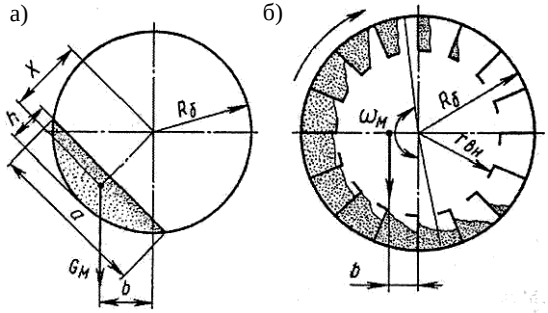


Рисунок 2.34 – Схема определения центра масс материала в медленно (*а*) и быстро вращающемся (*б*) барабане

Частоту вращения барабана (об/мин) находят из эмпирической зависимости

$$n = к_{р} / \sqrt{R_{б}} \,, \qquad (2.11)$$

где $к_{р}$ – коэффициент режима работы барабана,

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

$R_{б}$ – внутренний радиус барабана, м.

При медленном вращении поперечное сечение материала в барабане принимают за сплошной сегмент, центр масс которого находится от центра барабана на расстоянии, равном его радиусу $R_{б}$. Плечо b, а также силу тяжести материала определяют из условия, что при медленном вращении барабана сегмент материала повернут относительно вертикальной оси на угол $\beta_{м} = 45…50^{0}$:

$$b_{мв} = R_{б} \sin \beta_{м} = (0{,}70...0{,}77) R_{б} \,.$$

При быстром вращении барабана считают, что материал подхватывается полками и распределяется кольцевым сектором с центральным углом сектора $\omega_м \approx 180^0$. Внутренний радиус (м) кольцевого сектора материала

$$r_{вн} = R_б \sqrt{1 - 2\beta к_{под} / \beta_с} ,$$

где $к_{под}$ – доля материала, поднимаемого лопастями, от общего количества;

$\beta_с$ – коэффициент заполнения кольцевого сектора материалом, $\beta_с = 0{,}80 \ldots 0{,}95$.

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

$$b_{бв} = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{R_б^3 - r_{вн}^3}{R_б^2 - r_{вн}^2} . .$$

Окружное усилие (Н) на зубчатом венце определяют по формулам:

– для медленно вращающегося барабана

$$W_п = 0{,}75 G_м \frac{R_б}{R_{зв}} ; \qquad (2.12)$$

– для быстро вращающегося барабана

$$W_п = \frac{4G_м}{3\pi R_{зв}} \cdot \frac{30\sqrt{g}}{30\sqrt{g} + 2к_р} \cdot \frac{R_б^3 - r_{вн}^3}{R_б^2 - r_{вн}^2} . \qquad (2.13)$$

Окружное усилие на приводном валу приравнивают к общей сумме сопротивлений

$$\sum W = W_б + W_ц + W_п .$$

Окружную скорость (м/с) приводного зубчатого венца определяют по формуле

$$\upsilon_{зв} = \pi R_{зв} n / 30 .$$

Мощность (кВт), необходимая для привода сушильного барабана,

$$N = \frac{\sum W \upsilon_{зв}}{1000 \eta_б} , \qquad (2.14)$$

где $\eta_б$ – КПД привода барабана.

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

Ориентировочно массу замеса (кг) определяют, исходя из заданной производительности,

$$m_з = \frac{П t_ц}{3600 к_в}, \qquad (2.15)$$

где $t_ц$ – длительность цикла, с;

$к_в$ – коэффициент использования смесителя по времени, $к_в$ = 0,85.

Длительность цикла работы смесителя

$$t_ц = t_з + t_{см} + t_р,$$

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

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

$t_р$ – время разгрузки, зависящее от конструкции затвора смесителя; $t_р$ = 5 с.

Размеры смесителя определяют следующим образом (рисунок 2.35).

Межцентровое расстояние (м) валов смесителя

$$a_w = 2R\cos\varphi, \qquad (2.16)$$

где R – радиус корпуса смесителя, м;

φ – угол между горизонтальной прямой и линией, соединяющей ось вала со средней линией кромки днища; принимают $\varphi = 40…50^0$.

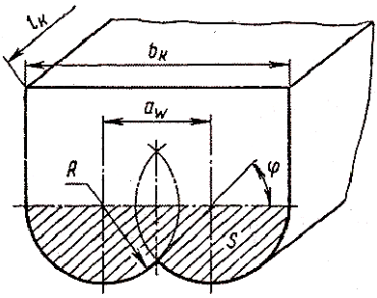


Рисунок 2.35 – Схема для определения размеров смесителя

В результате межцентровое расстояние (м) валов определяют из выражения

$$a_w = (1{,}41...1{,}53)R\,. \qquad (2.17)$$

Ширина (м) корпуса смесителя

$$b_к = 2R - a_w = (3{,}41...3{,}53)R\,. \qquad (2.18)$$

Его длина (м)

$$l_к = \psi b_к = (3{,}41...3{,}53)\psi R\,, \qquad (2.19)$$

где ψ – коэффициент, характеризующий форму корпуса смесителя;

$$\psi = l_к / b_к\,,$$

$\psi = 0{,}7\ldots1{,}4$ (предпочтительно $\psi = 0{,}85\ldots1{,}0$).

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

$$S = (2{,}854...2{,}933)R^2\,. \qquad (2.20)$$

Масса замеса

$$m_з = \beta_1 \rho_{см} V = \beta_1 \rho_{см} S l_к\,, \qquad (2.21)$$

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

$\rho_{см}$ – плотность смеси; $\rho_{см} = 1600\ldots1700$ кг/м^3.

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

$$m_з \approx 10 R^3 \psi \beta_1 \rho_{см}\,. \qquad (2.22)$$

Из формулы (2.22) можно вычислить радиус (м) корпуса смесителя:

$$R = \sqrt[3]{m_з / (10\psi\beta_1\rho_{см})}\,. \qquad (2.23)$$

Действительная частота вращения (об/мин) лопастных валов

$$n_д = (15{,}3...16{,}5)\sqrt{g/R}\,. \qquad (2.24)$$

Фактическую длительность смешивания (с) определяют из выражения

$$t_{фсм} = \frac{60}{n_д}\left[\frac{\lg 0{,}03 - \lg(1 - i_а)}{\lg(1 - к_{об})}\right], \qquad (2.25)$$

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

$к_{об}$ – коэффициент, характеризующий поперечный обмен, $к_{об} = 0{,}04\ldots0{,}05$.

По фактической длительности смешивания определяют длительность цикла $t_ц$, массу замеса $m_з$, радиус корпуса смесителя R и межцентровое расстояние a_w осей лопастных валов. По межцентровому расстоянию валов выбирают параметры ведущей шестерни редуктора:

$$a_w = zm,$$

где z – число зубьев ведущей шестерни редуктора;

m – модуль зацепления, мм.

По параметрам зубчатых колес приводного редуктора уточняют φ, $b_к$, $l_н$, S, V и $m_з$. Высоту лопастей h и ширину b выбирают, исходя из следующих ограничений. Если битум поступает самотеком или разбрызгиванием под небольшим давлением (0,3–0,4 МПа), то принимают $h = 0{,}5R$, $b = 0{,}42R$. При подаче битума в смеситель под большим давлением (1,5–2,0 МПа) – $h = 0{,}35R$, $b = 0{,}57R$.

Длина корпуса смесителя связана с параметрами лопастей и их числом $z_л$ уравнением

$$l_к = 2l_1 + b\cos\alpha + (b\cos\alpha + l)(z_л - 1). \qquad (2.26)$$

Из формулы (2.26) можно найти число парных (или одиночных) лопастей на одном валу:

$$z_л = \frac{l_к - 2l_1 - b\cos\alpha}{b\cos\alpha + l} + 1, \qquad (2.27)$$

где l_1 – зазор между крайней лопастью и торцовой стенкой смесителя, l_1 = = 7…10 мм;

b – ширина лопасти, мм;

α – угол наклона лопастей к оси вала; α = 31…45^0;

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

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

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

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

Поскольку $\upsilon_л = \omega R$, а $\upsilon_{ос} = gt$, то

$$\omega R = gt,$$

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

t – время падения частиц с высоты h_2, с.

Окружную скорость (м/с) конца лопасти, обеспечивающую качественное смешение, определяют по формуле

$$\upsilon_л = \omega R = (1{,}61...1{,}73)\sqrt{gR}\ . \qquad (2.28)$$

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

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

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

$$N = 0{,}036 Q_м, \text{ если } Q_м < 1400 \text{ кг}, \qquad (2.29)$$

или

$$N = 30 + 0{,}018 Q_м, \text{ если } Q_м > 1400 \text{ кг}, \qquad (2.30)$$

где $Q_м$ – масса замеса, кг.

Расчет системы пылеулавливания. Пылеулавливающие системы асфальтосмесительных установок предназначены для очистки дымовых газов, удаляемых из сушильного барабана и других агрегатов, от пыли, ее утилизации и подачи в смесительный агрегат для последующего использования в технологическом процессе в качестве заполнителя. Пыль, уносимая из сушильного барабана, составляет 6–8 % массы высушиваемого песка. При этом концентрация пыли в выбрасываемых газах достигает 300–400 г/м^3 при допустимой запылен-

ности 20 мг/м^3. Наиболее интенсивно пыль выделяется при работе сушильного барабана, горячего элеватора, грохота, дозаторов и смесителя.

Схемы пылеулавливания бывают одно- и многоступенчатыми. Первая ступень предназначена для крупных частиц, вторая и последующие – для мелких.

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

Объем дымовых газов и воздуха (м^3/ч), который необходимо очищать от пыли,

$$V_{оч} = к_1 V_{дг} + 3600 \sum S_н \upsilon_н \ , \qquad (2.31)$$

где $к_1$ – коэффициент подсоса воздуха через разгрузочную и дымовую коробки, $к_1$ = 1,2…1,3;

$V_{дг}$ – объем дымовых газов, удаляемых из сушильного барабана, м^3/ч;

$\sum S_н$ – суммарная площадь смотровых окон, неплотностей и щелей, м^2;

$\upsilon_н$ – скорость воздуха, проходящего через неплотности и смотровые окна, м/с,

$$\upsilon_н = к_р \sqrt{2 p_{рк} / \rho_в} \ ,$$

$к_р$ – коэффициент расхода воздуха, $к_р$ = 0,6…0,8;

$p_{рк}$ – разрежение под кожухами, необходимое для предотвращения выбивания воздуха через неплотности, $p_{рк}$ = 2…5 Па;

$\rho_в$ – плотность воздуха, $\rho_в$ = 1,29 кг/м^3.

Асфальтосмесительные установки оборудуют дымососом-вентилятором из-за большого сопротивления пылеулавливающих аппаратов. Выбор дымососа осуществляют с учетом конструкции пылеулавливающих аппаратов первой и второй ступени. Дымосос устанавливают перед мокрой (второй) ступенью пылеочистки. Развиваемое дымососом давление (Па), равное потерям давления в системе движения газа, можно определить по формуле

$$p_д = к_з (p_f + \sum p_м + p_{вн} + p_{сб} + p_I + p_{II}) \ , \qquad (2.32)$$

где $к_з$ – коэффициент запаса, $к_з$ = 1,25…1,5;

p_f – потери давления на трение в газоходах, Па;

$\sum p_м$ – суммарные потери давления от местных сопротивлений, Па;

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

$$p_{вн} = 1{,}3 p_{вых} \ ,$$

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

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

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

Потери давления (Па) на трение в газоходах

$$p_f = \lambda_т \rho_{дг} \frac{\upsilon_{дг}^2}{2} \cdot \frac{4l}{D},$$

где $\lambda_т$ – коэффициент трения газов, $\lambda_т$ = 0,01…0,015;

$\upsilon_{дг}$ – скорость газов в газоходах, $\upsilon_{дг}$ = 5…10 м/с;

l – длина газохода, м;

D – диаметр газохода, м.

Сумму потерь давления (Па) от местных сопротивлений определяют по формуле

$$\sum p_м = \sum \xi \rho_{дг} \upsilon_{дг}^2 / 2,$$

где ξ – коэффициент сопротивления, зависящий от угла α поворота трубы газохода (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – **Значения коэффициента сопротивления в зависимости от угла поворота трубы газохода**

α, ^{0}	20	40	45	60	80	90	100	120	160
ξ	0,046	0,139	0,188	0,364	0,740	0,984	1,26	1,84	2,84

Потери давления (Па) в выходном патрубке дымососа

$$p_{вых} = \rho_{дг} \upsilon_{дг}^2 / 2.$$

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

По выбранной конструкции аппаратов первой и второй ступеней пылеулавливания определяют давление $p_д$.

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

Мощность (кВт) двигателя, необходимая для работы дымососа,

$$N_д = \frac{p_д V_{оч}}{3{,}6 \cdot 10^6 \eta_{об} \eta_м}, \qquad (2.33)$$

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

$\eta_м$ – КПД механической передачи от двигателя к дымососу.

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

Диаметр дымовой трубы определяют по формуле

$$D_{тр} = 0{,}0188\sqrt{V_{дг}/\upsilon_{гт}}\ , \qquad (2.34)$$

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

$\upsilon_{гт}$ – скорость движения газов в дымовой трубе при естественной тяге, $\upsilon_{гт}$ = 2…3 м/с.

Дымовая труба должна создавать разрежение $\sum p$, достаточное для преодоления сопротивлений газоходов, $\sum p$ = 15…20 Па.

Высоту дымовой трубы (м) определяют из выражения

$$h_{тр} = \frac{\sum p + \dfrac{273\rho_{дг}\upsilon_{гт}^2}{2T_{дг}}}{273g\left(\dfrac{\rho_в}{T_в} - \dfrac{\rho_{дг}}{T_{дг}}\right) - \dfrac{4f}{D_{тр}}\cdot\dfrac{273\rho_{дг}\upsilon_{гт}^2}{2T_{дг}}}\ , \qquad (2.35)$$

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

$$\rho_{дг} = \sum m_{пс} m_т / V_{дг}\ ,$$

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

$m_т$ – расход топлива, кг;

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

$T_в$ – температура воздуха, К;

$\rho_в$ – плотность воздуха, кг/м^3;

f – коэффициент трения газа в трубе, f = 0,007…0,010;

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

Совершенствование технологии получения асфальтобетонных смесей осуществляют в нескольких направлениях, в их числе вибрационное смешение и беспыльное приготовление АБ смесей.

При вибрационном смешении все технологические агрегаты, кроме смесителя, остаются неизменными. Для этих целей используют или вибрационный смеситель барабанного типа, или двухвальный лопастной смеситель периодического действия с вибрирующими корпусом и валами. Вибрация

корпуса и рабочих органов смесителя создает в смеси значительные ускорения частиц и разрушает коагуляционную структуру битума, что облегчает адсорбцию асфальтенов, входящих в его состав, на поверхности минеральных материалов.

При вибрации битум переходит в пленочное состояние и лучше обволакивает минеральные частицы, а сами пленки битума становятся более однородными по толщине, что приводит к повышению качества асфальтобетонной смеси и, как следствие, – повышению долговечности асфальтобетонного покрытия. Однако, несмотря на преимущества вибрационного смешивания, этот метод не получил пока распространения из-за низкой долговечности узлов вибрационных смесителей.

Технология беспыльного приготовления асфальтобетонной смеси существенно отличается от традиционной. Существуют два способа беспыльного приготовления смеси: в первом – минеральные материалы смешивают с битумом в двухвальном лопастном смесителе до сушки, во втором – минеральные материалы смешивают с битумом в процессе сушки и нагрева материала в сушильно-смесительном барабане.

По первому способу, разработанному немецкой фирмой «Wibau» , предварительно отдозированные агрегатом питания влажные минеральные материалы подают в двухвальный лопастный смеситель, в который последовательно поступают активирующая добавка и битум.

Водный раствор активирующей добавки придает частицам минерального материала водоотталкивающие свойства и улучшает их адгезию к битуму. После введения в холодную смесь горячего распыленного битума его капли застывают, связывая мелкие частицы минерального материала в гранулы.

Приготовленная в смесителе холодная смесь поступает далее в сушильный барабан-активатор, где происходит испарение влаги и расплавление капель битума. Благодаря действию активирующей добавки расплавленный битум эффективно обволакивает частицы минерального материала.

Данный способ имеет многие достоинства, в их числе возможность использования серийного оборудования; снижение стоимости и металлоемкости асфальтосмесителя вследствие исключения горячего элеватора, грохота, горячего бункера и дозаторов минеральных материалов; возможность длительного хранения холодной смеси и последующего приготовления асфальтобетонной смеси на объекте с использованием только сушильного барабана-активатора.

Недостатки способа обусловлены рядом обстоятельств. К ним относятся сложность соблюдения заданного рецептурного состава, поскольку дозирование осуществляет агрегат питания; строгий контроль влажности песка и щебня для сохранения заданного соотношения массы минерального материала и битума; применение минеральных порошков, не склонных к набуханию, а также дорогостоящей активирующей добавки; повышенные требования к стабильности теплового процесса во избежание разрушения и окисления битумной плен-

ки. Кроме того, приготовление асфальтобетонной смеси (по способу фирмы «Wibau») не нашло широкого применения из-за контакта горячих газов с открытым битумом, который при нагреве выше 100°С вспенивается, интенсивно стареет и выгорает. Замена противоточного барабана-активатора на поточный также не уменьшает явления старения и выгорания битума.

Второй способ беспыльного приготовления асфальтобетонной смеси получил большее распространение. В нем влажные и холодные песок и щебень, предварительно отдозированные в агрегате питания, и минеральный порошок по ленточному конвейеру подают в сушильный барабан (рисунок 2.36), работающий по поточному способу сушки. В первой (радиационной) зоне сушильного барабана происходит нагрев и сушка минеральных материалов. Во вторую (конвективную) зону сушильного барабана подают битум, где в среде горячих газов и паров воды происходят дальнейший нагрев минеральных материалов и их обволакивание.

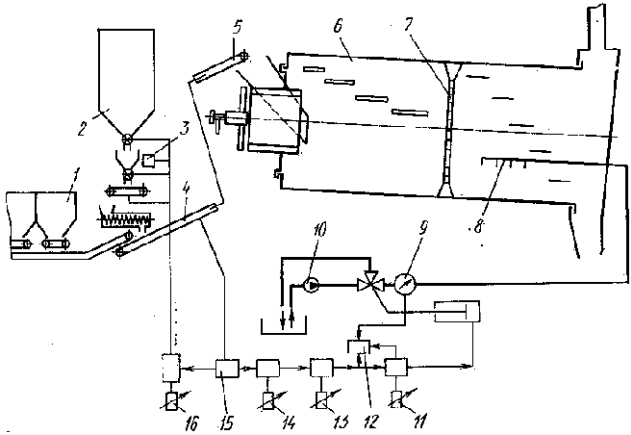


Рисунок 2.36 – Схема технологического процесса приготовления асфальтобетонных смесей в сушильно-смесительном барабане с системой дозирования битума:
1 – агрегат питания; 2 – агрегат минерального порошка; 3 – система дозирования минерального порошка; 4 – датчик расхода материала; 5 – транспортер; 6 – сушильно-смесительный барабан; 7 – диафрагма; 8 – форсунки подачи битума; 9 – расходомер битума; 10 – битумный насос; 11 – устройство корректировки подачи битума; 12 – сравнивающее устройство; 13 – задатчик процентного содержания битума; 14 – устройство корректировки влажности; 15 – устройство контроля расхода влажных материалов; 16 – задатчик расхода минерального порошка

Дозирование битума основано на применении расходомеров и сблокировано с системой дозирования минеральных материалов при строгом контроле их влажности.

Для исключения прямого контакта факела горящего топлива с битумом используют различные методы. Фирмы «Astec» (США) и «Gencor» (Великобритания) разделяют радиационную и конвективную зоны сушильно-смесительного барабана диафрагмой. Фирма «Ermont» (Франция) применя-

ет специальную систему подъемно-сбрасывающих лопастей, создающих непроницаемый для излучения факела экран из ссыпающегося материала, обеспечивающий качественное просушивание материалов в барабане.

Наличие в зоне активного пылеобразования жидкого битума способствует улавливанию частиц пыли, однако полностью исключить вынос пыли из сушильно-смесительного барабана не удается. Температура выходящей готовой смеси составляет 120–140 °С для менее вязких и 135–175 °С для более вязких битумов. Готовую смесь выдают или непосредственно в транспортное средство, или элеватором в накопительный бункер.

Достоинства установок с сушильно-смесительными барабанами заключаются в простоте оборудования, значительном снижении металлоемкости и энергоемкости, а также в меньшем количестве пыли, выносимой из сушильно-смесительного барабана, что упрощает очистку дымовых газов.

К недостаткам беспыльного приготовления смеси в сушильно-смесительном барабане следует отнести необходимость жесткого контроля влажности компонентов, применение минерального порошка, не склонного к набуханию, высокую влажность готовой смеси (до 1–3 %); высокую температуру образующихся дымовых газов (до 300–350 °С) и др.

Для замедления старения битума в сушильно-смесительном барабане применяют короткофакельные топки с интенсивным режимом горения и очень низким коэффициентом избытка воздуха, не превышающим 1,05.

Следует отметить, что достоинства этого метода компенсируют перечисленные недостатки, поэтому выпуск установок с сушильно-смесительными барабанами ведущими производителями технологического оборудования постоянно растет.

2.4 Машины для транспортирования битумных материалов

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

АБВ (рисунок 2.37) состоит из автомобильного тягача 1 и полуприцепа-цистерны, шарнирно связанных между собой через седельно-сцепное шкворневое устройство.

Цистерна представляет собой теплоизолированную емкость, снабженную воздушными клапанами, контрольно-измерительной аппаратурой, включая указатель уровня 2 и термометр 4, системой отопления, включая

горелку 6, и насос для закачки и выдачи битума. Теплоизоляция состоит из матов нетканого стекловолокна, проложенных между стальными стенками цистерны и кожухом для предохранения битумного материала от остывания. Внутри цистерна имеет перегородки-волнорезы для уменьшения гидравлических ударов при резком торможении машины. К волнорезам прикреплены жаровые трубы, проходящие по всей длине цистерны. Сверху цистерна имеет заливной люк 5 с откидной крышкой и сетчатыми фильтрами.

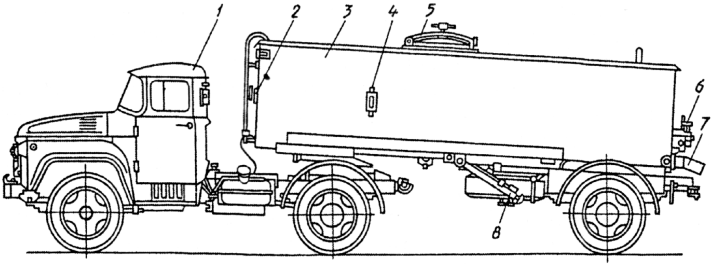


Рисунок 2.37 – Схема автобитумовоза*:*
1– автомобильный тягач; 2 – указатель уровня; 3 – цистерна; 4 – термометр; 5 – люк; 6 – горелка; 7 – сливной трубопровод; 8 – опорное устройство

На рисунке 2.38 представлена типичная схема автобитумовоза с огневой системой обогрева. Битумный насос 19 обеспечивает циркуляцию битума в цистерне 2, способствуя равномерному разогреву битума при помощи жаровых труб. Привод битумного насоса осуществляют от коробки отбора мощности тягача или от автономного двигателя.

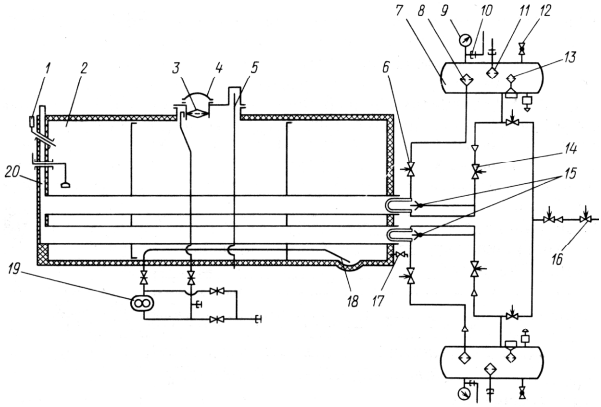


Рисунок 2.38 – Схема автобитумовоза:
1 – термометр; 2 – цистерна; 3 – фильтр заливной горловины цистерны; 4 – заливная горловина; 5 – дыхательная труба; 6, 14 – вентили горелки; 7 – топливный бак; 8, 11 – тканевые фильтры; 9 – манометр; 10 – штуцер подачи воздуха к переносной горелке; 12 – сливной кран; 13 – сетчатый фильтр заливной горловины бака; 15 – горелки; 16 – вентиль отбора воздуха из баллона; 17 – шибер опорожнения цистерны; 18 – заборная труба; 19 – битумный насос; 20 – дымоход

В таблице 2.5 представлены технические характеристики некоторых АБВ российского производства на базе грузовых автомобилей КамАЗ и МАЗ. Как видно из таблицы, в основном используют систему тягач – полуприцеп-цистерна. В зависимости от мощности базового тягача вместимость цистерны изменяется в пределах от 10000 до 33000 л. Помимо АБВ, для транспортирования битумных материалов можно использовать автогудронаторы, которые снабжены циркуляционно-распределительной системой, обеспечивающей равномерное распределение битумного материала на обрабатываемую поверхность дорожного полотна.

Таблица 2.5 – **Технические характеристики автобитумовозов**

Параметр	ДС-138Б-01	ДС-164А	АЦБ-25-00	БЦМ-96042	ППЦ-25	ППЦ-33	ППЦ-21.2
Тягач	КамАЗ-53215	КамАЗ-54115	МАЗ-64229	МАЗ-64229	МАЗ-54323	МАЗ-544008	МАЗ-54323
V, л	10000	18000	25000	25000	25000	33000	21000
$m_{пол}$, кг	19610	32500	43700	34700	24850	33440	26800
$\upsilon_{макс}$, км/ч	85	85	70	60	80	80	60
Число осей	6х4	2	3	2	2	3	2
Время, мин:							
наполнения	25	–	25	70	–	–	45
опорожнения	25	–	25	30	–	–	10–30
$\upsilon_{нагр}$, град/ч	15	10	10	12	–	–	12
Подача насоса, л/об	0,7	0,7	0,7	–	0,35	0,35	–
Габариты,мм:							
длина	8680	1800	11000	11120	8150	10440	9500
ширина	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
высота	2910	3300	3650	3400	3310	3310	3400

Примечание – V– вместимость цистерны; $m_{пол}$ – полная масса; $\upsilon_{макс}$ – скорость; $\upsilon_{нагр}$ – скорость нагрева битума.

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

Производительность (л/ч) автобитумовоза определяют по формуле

$$П_{аг} = 3600 к_в V_ц / T , \qquad (2.36)$$

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

$V_ц$ – полезный объем цистерны, л;

T – продолжительность (с) одного цикла (рейса),

$$T = t_н + \frac{L}{\upsilon_г} + \frac{L}{\upsilon_п} + t_м + t_п\,, \qquad (2.37)$$

$t_н$ – время заполнения цистерны битумом, $t_н$ = 600…900 с;

L – расстояние транспортирования битума, м;

$\upsilon_г$ – скорость движения груженого битумовоза,м/с;

$\upsilon_п$ – скорость порожнего битумовоза, м/с;

$t_м$ – время маневрирования битумовоза на базе и на объекте строительства, $t_м$ = 240…360 с;

$t_п$ – время на подготовку битумовоза к сливу битума, $t_п$ = 300…360 с.

Мощность привода (кВт) битумного насоса

$$N_н = \Pi_т p_р/(1000\eta_н)\,, \qquad (2.38)$$

где $\Pi_т$ – теоретическая (расчетная) подача насоса, м^3/с;

$p_р$ – расчетное суммарное давление , создаваемое насосом, Па;

$\eta_н$ – КПД трансмиссии от двигателя до насоса.

Суммарное давление находят по формуле

$$p_р = 1{,}1(p_п + \sum p_м + p_{рб})\,, \qquad (2.39)$$

где $p_п$ – потери давления по длине трубопровода, МПа;

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

$p_{рб}$ – давление при розливе битума, $p_{рб}$ = 0,5…0,6 МПа.

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

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

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

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

Количество теплоты (кДж), выделяемое битумом за один час,

$$Q = m_б c_б (t_1 - t_2)\,, \qquad (2.40)$$

где $m_б$ – масса битума, кг;

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

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

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

Количество теплоты (кДж), теряемое через наружную поверхность цистерны,

$$Q = 3600 к_т F_ц (t_б - t_в)\ , \tag{2.41}$$

где $к_т$ – коэффициент теплопередачи, кВт/(м^2 · град);

$F_ц$ – площадь поверхности цистерны, м^2;

$t_б$ – средняя температура битума в цистерне, град;

$t_в$ – температура окружающей среды (воздуха), град.

Площадь поверхности (м^2) цистерны состоит из площадей боковой поверхности и двух днищ:

$$F_ц = F_{бок} + 2F_{дн}\ . \tag{2.42}$$

Площадь боковой поверхности (м^2) при эллиптической форме цистерны

$$F_{бок} = \pi L_ц \sqrt{2(a^2 + b^2) - \frac{1}{4}(a-b)^2}\ , \tag{2.43}$$

где $L_ц$ – длина цистерны, м;

a, b – полуоси эллипса, м.

Площадь днища

$$F_{дн} = \pi ab\ . \tag{2.44}$$

Коэффициент теплопередачи $к_т$, кВт/(м^2·град), через трехслойную теплоизоляцию (стальная внутренняя стенка, теплоизоляционный слой и наружный стальной кожух) от битума к воздуху

$$к_т = \frac{1}{\dfrac{1}{\alpha_1} + \dfrac{\delta_1}{\lambda_1} + \dfrac{\delta_2}{\lambda_2} + \dfrac{\delta_3}{\lambda_1} + \dfrac{1}{\alpha_2}}\ , \tag{2.45}$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от битума к внутренней стенке цистерны, $\alpha_1 = 0{,}097$ кВт/(м^2 · град);

α_2 – коэффициент теплоотдачи от стального кожуха к воздуху, кВт / (м^2·град);

δ_1 – толщина стальной стенки цистерны, $\delta_1 = 0{,}004$ м;

δ_2 – толщина теплоизоляционного слоя стекловолокнистого материала, м;

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

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

λ_2 – коэффициент теплопроводности стекловолокнистого материала,.

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

Коэффициент теплоотдачи α_2 определяют по формуле

$$\alpha_2 = 4,24 \cdot 10^{-3} \, \upsilon_{ц}^{0,805} / D_{ц}^{0,195} , \qquad (2.46)$$

где $\upsilon_{ц}$ – скорость движения машины, $\upsilon_{ц} = 4...5$ м/с ;

$D_{ц}$ – средний диаметр цистерны, м.

Толщина теплоизоляционного стекловолокнистого материала

$$l_2 = \lambda_2 \left[\frac{3600 F_{ц}(t_{б} - t_{в})}{m_{б} c_{б} (t_1 - t_2)} - \frac{1}{\alpha_2} - \frac{l_1}{\lambda_1} - \frac{l_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_2} \right]. \qquad (2.47)$$

При расчете отопительной системы автобитумовоза используют методику, которая рассмотрена в разд. 8 при расчете автогудронатора.

3 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

3.1 Классификация битумных эмульсий

Битумная эмульсия является современным вяжущим материалом для дорожно-строительных и дорожно-ремонтных работ. Ее применение имеет ряд значительных преимуществ по сравнению с традиционными технологиями с использованием битума:

– экономия битума (до 30 %) и щебня (до 45 %) за счет лучшей обволакиваемости минерального материала битумной эмульсией;

– более высокое сцепление с обрабатываемой поверхностью;

– широкий температурный интервал работ (начиная с 0 ºС);

– сокращение энергозатрат (до 55 %) по сравнению с горячим асфальтобетоном;

– возможность использования влажных минеральных материалов и проведения работ при неблагоприятных погодных условиях;

– улучшение экологической обстановки на объектах производства работ и подготовки материалов;

– увеличение на 40 % срока службы отремонтированного покрытия.

Наиболее полным и точным можно считать следующее определение эмульсии. *Эмульсия* – это неоднородная, термодинамически неустойчивая система, содержащая, по меньшей мере, две жидкие фазы, не поддающиеся смешению, из которых одна рассеивается во второй в форме капель с диаметром, превышающим 0,1 мкм.

Эмульсии классифицируют по следующим основным признакам:

1) *по происхождению* – натуральные и искусственные;

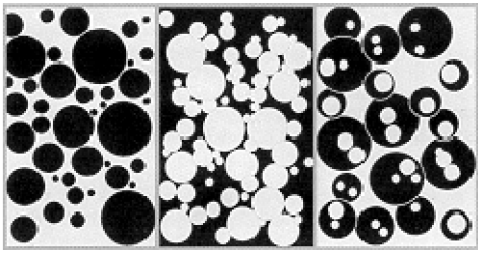
2) *по форме* – прямые, обратные и многосложные;

3) *по зернистости* – собственно эмульсии (с размером частиц от 1 до 20 мкм) и микроэмульсии (от 0,01 до 0,05 мкм).

В прямых эмульсиях, к которым относятся и битумные эмульсии, внутренняя фаза является липофильной (дисперсной), а внешняя – гидрофильной (постоянной). Таким эмульсиям (рисунок 3.1, *а*) присвоен индекс L/H («масло в воде»). В противоположность прямым эмульсиям у обратных (ри-

сунок 3.1, *б*) дисперсная фаза является гидрофильной, а постоянная фаза – липофильной. Такие эмульсии имеют индекс H/L («вода в масле»). Многосложные эмульсии (рисунок 3.1, *в*) – это эмульсии (типа L/H), у которых сами диспергированные капли содержат меньшие капли жидкости непрерывной фазы, т.е. воды. Такие эмульсии имеют индекс H/L/H («вода в масле в воде»).

Битумные эмульсии разделяют на два класса: *анионные и катионные*. Существуют также *неионные* эмульсии, которые не используют в дорожном строительстве.



а) *б)* *в)*

РРисунок 3.1 – Классификация эмульсий по форме:
а – прямые эмульсии (L/H – «масло в воде»);
б – обратные эмульсии (H/L – «вода в масле»);
в – многосложные эмульсии (H/L/H – «вода в масле в воде»)

Если при получении эмульсии капли битума адсорбируют анионы (т.е. отрицательные ионы), битумная эмульсия будет *анионной*. Если же капли битума адсорбируют катионы (т.е. положительные ионы), то такая эмульсия будет *катионной* (рисунок 3.2).

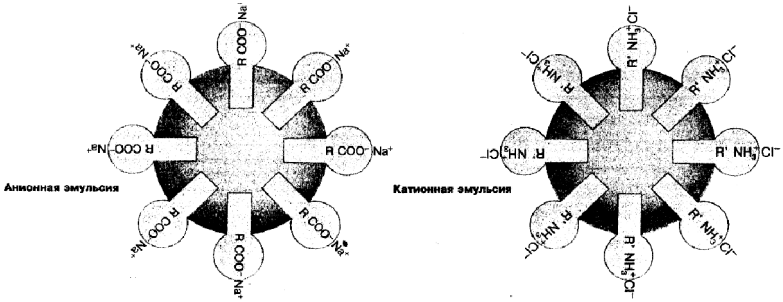


Рисунок 3.2 – Анионная и катионная битумные эмульсии

Анионную эмульсию получают по формуле

$$RCOOH + NaOH = RCOO^{-} + Na^{+} + H_2O$$

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

Для получения катионной эмульсии используют формулу

$$RNH_2 + HCl = RNH_3^{+} + Cl^{-}$$

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

Заряд капель битума определяет свойства битумной эмульсии, а также ее взаимодействие с минеральным материалом в составе асфальтобетона. При взаимодействии *анионной*, т.е. отрицательно заряженной, эмульсии и *электроположительных* материалов (известняков, базальтов) происходит образование нерастворимого кальция; при взаимодействии *катионной* эмульсии и этих же материалов происходит химическая реакция между материалом и кислотой с образованием нерастворимого карбоната амина. При взаимодействии *катионной* эмульсии и *электроотрицательных* материалов (кремней, кварцитов, гранитов) образуется нерастворимый силикат амина; для *анионной* эмульсии и *электроотрицательных* материалов химическое взаимодействие отсутствует. Данные процессы схематически представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – **Схемы взаимодействия анионной и катионной эмульсий с электроположительным и электроотрицательным материалами**

Материал	Катионная эмульсия	Анионная эмульсия
Электроположительные материалы (известняк, базальт)	Реакция нейтрализации ↓ Распад ↓ Формирование нерастворимого карбоната амина ↓ Сцепляемость	Притягивание ↓ Распад ↓ Формирование нерастворимого кальция ↓ Сцепляемость
Электроотрицательные материалы (кремень, кварцит, гранит)	Притягивание ↓ Распад ↓ Формирование нерастворимого силиката амина ↓ Сцепляемость	Отсутствие реакции нейтрализации Отсутствие притягивания

В дорожном строительстве используют катионные битумные эмульсии. В Беларуси действует СТБ 1245–2007 «Эмульсии битумные катионные дорожные». В зависимости от типа вяжущего и скорости распада эмульсии разделяют на следующие марки:

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

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

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

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

Катионные эмульсии широко используют в различных технологических процессах строительства и восстановления дорожной одежды, в том числе для устройства защитных слоев асфальто- и цементобетонных покрытий, стабилизации гравийных и грунтовых покрытий, для приготовления гравийно-эмульсионных и различных асфальтобетонных смесей. Для этих целей в основном используют эмульсии марок ЭБКД-Б-60, ЭБКД-Б-65 и ЭБКД-Б-70, ЭБКД-С-65, ЭБКД-М-60, ЭБКД-М-65, ЭБмКД-Б-65, ЭБмКД-Б-70, ЭБлКД-Б-65, ЭБлКД-Б-70 и др.

3.2 Технологический процесс получения эмульсий

Производство битумной эмульсии показано на схеме, представленной на рисунке 3.3.

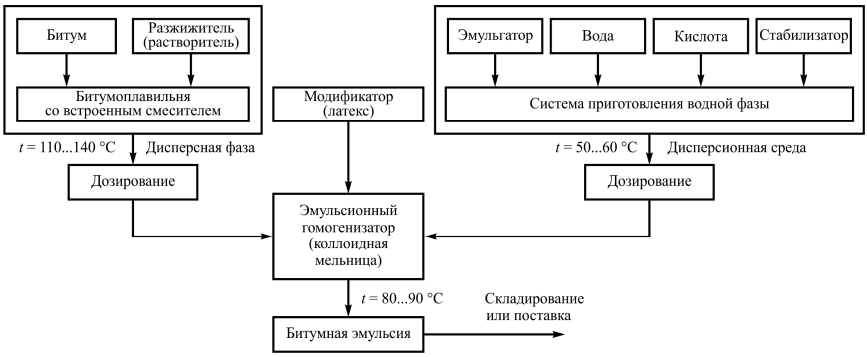


Рисунок 3.3 – Технологическая схема производства битумной эмульсии

Для производства битумной эмульсии необходимы следующие и н г р е д и е н т ы:

1) *битум* (битумы нефтяные дорожные вязкие по ГОСТ 22245–90 , битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия по СТБ 1062–97 и модифицированные битумы по СТБ 1220–2000);

2) *разжижитель* (уайт-спирит или дизельное топливо);

3) *эмульгатор* (поверхностно-активное вещество класса аминов, образующее оболочку на поверхности битумных частиц и тем самым стабилизирующее эмульсию);

4) *вода* с минимальным содержанием органических и минеральных примесей;

5) *кислота соляная* (для получения водорастворимых солей эмульгатора);

6) *модификатор* (латекс или др.);

7) *стабилизатор* (хлористый кальций в виде водного раствора 0,05–−0,5 мас. %).

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

На рисунках 3.4 и 3.5 приведены принципиальные схемы наиболее распространенных установок для производства битумной эмульсии путем механического эмульгирования. Их основным узлом является коллоидная мельница.

Водную фазу (раствор эмульгатора), битум и модификатор подают насосами в коллоидную мельницу, где и происходит эмульгирование. Раствор эмульгатора содержит воду, эмульгатор, кислоту и стабилизатор. Их тщательно перемешивают, обеспечивая заданную однородность и требуемый показатель pH. В качестве основы эмульсии используют чистый битум или битум, смешанный с растворителем. В процессе приготовления температура эмульсии не должна быть выше 100 ºС (для предотвращения закипания воды).

3.3 Оборудование для диспергирования компонентов эмульсий

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

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

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

3) система контроля и управления;

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

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

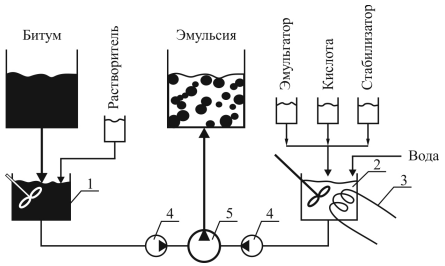


Рисунок 3.4 – Установка для производства битумной эмульсии периодического действия:
1 – битумоплавильня с встроенным смесителем; 2 – агрегат водной фазы; 3 – нагреватель; 4 – дозировочный насос; 5 – коллоидная мельница

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

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

1) *режиму работы* – оборудование циклического и непрерывного действия;

2) *направлению перемещения рабочего органа* – возвратно-поступательное (плунжер) и вращательное (лопастной вал и ротор);

3) *виду колебаний рабочего органа* − пьезоэлектрические, акустические, электромагнитные и жидкоструйные рабочие органы;

4) *виду зазора* между подвижным и неподвижным элементами рабочего органа – с регулируемым и нерегулируемым зазором;

5) *количеству роторов* – одно- и многороторные рабочие органы.

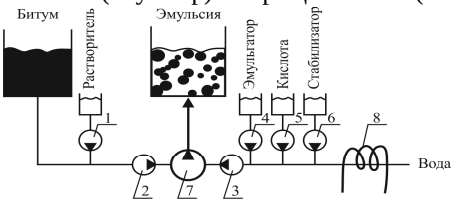


Рисунок 3.5 – Установка для производства битумной эмульсии непрерывного действия:
1–6 – дозировочный насос; 7 – коллоидная мельница; 8 – нагреватель

Пьезоэлектрические и электромагнитные генераторы колебаний рабочих органов используют в основном в лабораторных установках.

Жидкоструйные генераторы колебаний также не получили широкого распространения из-за сложности конструкции и технологии приготовления эмульсии.

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

Промышленное производство битумных эмульсий в основном осуществляют с помощью коллоидных мельниц различной конструкции. Их основными характеристиками, определяющими качество выпускаемой эмульсии, являются частота вращения ротора и величина регулируемого или постоянного зазора между статором и ротором. В общем виде коллоидная мельница представлена на рисунке 3.6.

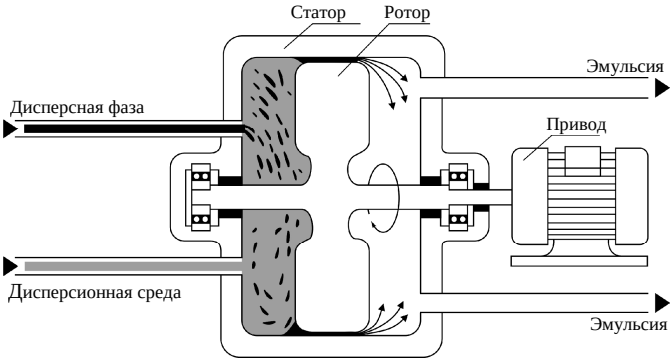


Рисунок 3.6 – Коллоидная мельница

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

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

Примером диспергатора циклического действия может служить лопастной смеситель, представленный на рисунке 3.7. Корпус смесителя имеет обечайку 3 с коническим дном 1, рубашку 2 для обогрева и верхнюю крышку 4. Корпус прикреплен к горизонтальной раме, на которой установлен электродвигатель 14. В крышке имеются три отверстия для патрубков, через которые подают исходные материалы. Лопастной вал 11 приводит двигатель 14 через клиноременную передачу и конический редуктор.

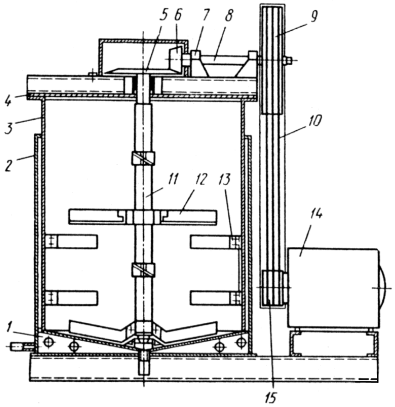


Рисунок 3.7 – Лопастной смеситель:
1 – дно; 2 – рубашка обогрева; 3 – обечайка;
4 – верхняя крышка; 5, 6 – конические шестерни;
7 – опора; 8 – вал; 9, 15 – шкив; 10 – ремни;
11 – лопастной вал; 12 – вращающаяся лопасть;
13 – неподвижная лопасть;
14 – электродвигатель

Перемешивающее устройство состоит из вертикального лопастного вала 11 и четырех пар вращающихся лопастей 12, установленных под разными углами к оси вращения вала и создающих турбулентное перемешивание жидкости. Кроме вращающихся лопастей на внутренней поверхности обечайки закреплены четыре неподвижные лопасти 13.

Технические характеристики лопастного смесителя циклического действия представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – **Технические характеристики лопастного смесителя**

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

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

Возвратно-поступательное движение рабочего органа (в виде плунжера) реализовано в конструкции гомогенизатора модели ОГБ5-5, представленного на рисунке 3.8. Он состоит из станины 1, трехплунжерной системы 6, гомогенизирующей головки 7, электродвигателя 3 и ременной передачи 4. В состав системы 6 входят чугунный блок 2 с цилиндрами, вал 5 с эксцентриком 12, шатуны 11 и ползуны 10 с закрепленными на них плунжерами 8. Рабочие концы плунжеров входят в три цилиндра блока, на котором установлена головка 7. Перемещение ползунов осуществляется по направляющим 9.

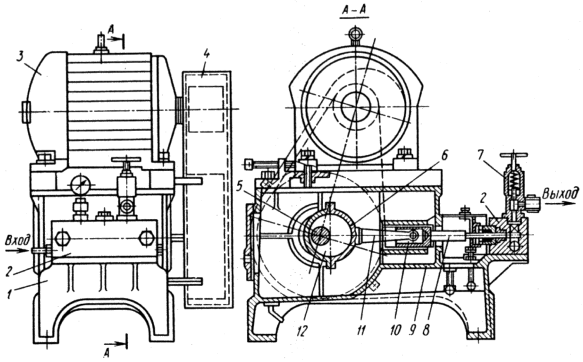


Рисунок 3.8 – Гомогенизатор с поступательно движущимся рабочим органом:
1 – станина; 2 – блок цилиндров; 3 – электродвигатель; 4 – ременная передача;
5 – вал; 6 – трехплунжерная система; 7 – гомогенизирующая головка; 8 – плунжер;
9 – направляющая; 10 – ползун; 11 – шатун; 12 – эксцентрик

При движении плунжера вправо создается разрежение, в результате чего исходные материалы из канала всасываются в цилиндры блока 2. При движении плунжера в обратную сторону в камере создается избыточное давление, и материалы нагнетаются в гомогенизирующую головку, которая состоит из корпуса, клапана с седлом, распылителя и промежуточного стержня. Клапан представляет собой цилиндрический стержень, концы которого имеют сферические поверхности. Седло клапана выполнено в виде кольца с выточками на внутренней поверхности. Сферическая поверхность стержня и выточка седла образуют рабочий зазор, через который продавливают эмульгируемые материалы. В процессе работы исходные компоненты поступают самотеком в приемный канал блока цилиндров, откуда под давлением подаются плунжерами к гомогенизирующей головке и с большой скоростью (до 200 м/с) продавливаются через узкий зазор между притертыми поверхностями клапана и седла. Далее материалы проходят через распылитель, где за счет сильного завихрения потока происходят дробление и эмульгирование жидкостей. Готовая эмульсия из гомогенизирующей головки поступает в трубопровод и далее в емкость для хранения.

Технические характеристики плунжерного гомогенизатора модели ОГБ-5 представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – **Технические характеристики плунжерного гомогенизатора ОГБ-5**

Параметр	Значение
Производительность (конструктивная), $м^3/с$ (т/ч)	$14 \cdot 10^{-4}$ (5,0)
Частота вращения вала эксцентриков, $мин^{-1}$	312
Рабочее давление, МПа	10–30
Мощность электродвигателя, кВт	28
Масса (с электродвигателем), кг	1300

Для лабораторных целей используют компактную коллоидную мельницу роторного типа, конструктивная схема которой представлена на рисунке 3.9. Она имеет корпус 1, ротор 7 со шнеком 11, закрепленным на валу 2, статор 12 и загрузочную воронку 14.

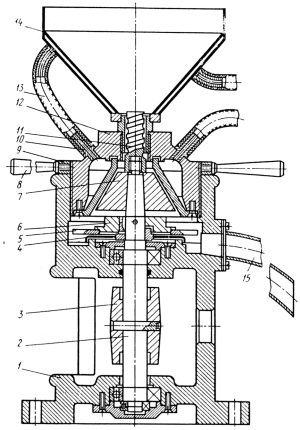


Рисунок 3.9 – Лабораторная коллоидная мельница:
1 – корпус; 2 – вал; 3 – приводной шкив;
4 – отражатель; 5 – лопатка; 6 – кронштейн; 7 – ротор;
8 – рукоятка; 9 – контргайка; 10 – штуцер; 11 – шнек;
12 – статор; 13 – шланг; 14 – загрузочная воронка;
15 – выпускной патрубок

Статор выполнен литым из чугуна, в нем установлена стальная коническая обойма, внутренняя поверхность которой является рабочей. В пространство над наружной поверхностью статора через штуцер 10 и шланги 13 поступает пар или жидкий теплоноситель для обогрева. Ротор имеет форму усеченного конуса с гладкой рабочей поверхностью, причем ротор и обойма статора имеют одинаковую конусность. Регулирование рабочего зазора между ротором и статором осуществляют вертикальным перемещением статора по резьбе корпуса с помощью рукояток 8 с контргайками 9.

При работе исходные материалы (битум и водный раствор эмульгатора) подают в воронку, откуда с помощью шнека они поступают в рабочий зазор между ротором и статором, где происходят измельчение и эмульгирование материала ротором, вращающимся посредством приводного шкива 3 ременной передачи. Полученная эмульсия лопатками 5, закрепленными на кронштейне 6 отражателя 4, отбрасывается к выпускному патрубку 15.

Технические характеристики лабораторной коллоидной мельницы приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – **Технические характеристики коллоидной мельницы**

Параметр	Значение
Производительность (конструктивная), $м^3/с$ (т/ч)	$8{,}4 \cdot 10^{-5}$ (0,3)
Окружная скорость ротора, м/с	12
Частота вращения ротора, $мин^{-1}$	3000
Мощность электродвигателя привода, кВт	2,2
Масса (без электродвигателя), кг	35

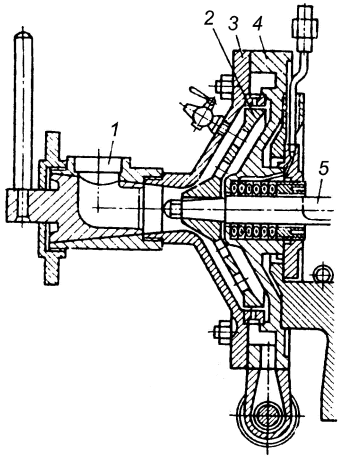


Рисунок 3.10 – Однодисковый роторный гомогенизатор ДБ-1:
1 – канал; 2 – ротор; 3 – крышка; 4 – корпус; 5 – вал

В качестве примера промышленной модели однороторного рабочего органа представлен роторный гомогенизатор ДБ-1 (рисунок 3.10). На горизонтальном валу 5 установлен стальной диск (ротор) 2 с конической рабочей поверхностью, прилегающей к конической поверхности корпуса 4 (статора). Зазор между коническими поверхностями регулируют осевым перемещением ротора. Исходные компоненты смеси через канал 1, выполненный в крышке 3, поступают под давлением в зазор между статором и ротором, где и происходит образование эмульсии.

Технические характеристики однодискового гомогенизатора представлены в таблице 3.5.

Совершенствование гомогенизаторов с вращающимся рабочим органом осуществляют установкой нескольких рото-

ров на рабочем валу. В частности, в модели ДБ-1 вместо одного диска устанавливают два конических, соединенных между собой диска. Это позволяет повысить производительность благодаря одновременному прохождению эмульгируемых жидкостей через два зазора.

Таблица 3.5 – **Технические характеристики однодискового гомогенизатора ДБ-1**

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

На рисунке 3.11 приведена схема гомогенизатора со сдвоенным ротором *4*, имеющим эллиптическую рабочую поверхность. Центры кривизны поверхностей ротора и корпуса *5* расположены так, что рабочие зазоры 3 можно изменять продольным перемещением вала *1*. Вследствие этого можно регулировать давление жидкости, подаваемой через приемный канал *2*, что способствует интенсификации эмульгирования.

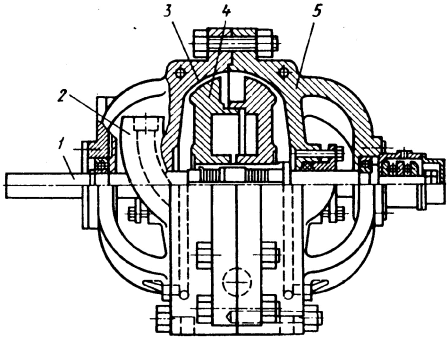


Рисунок 3.11 – Гомогенизатор с эллиптическим ротором:
1 – вал; 2 – приемный канал; 3 – рабочий зазор; 4 – ротор; 5 – корпус

Повышение качества диспергирования материалов и улучшение свойств битумной эмульсии обеспечивают применение роторов с волнистой рабочей поверхностью.

В турбосмесителе, изображенном на рисунке 3.12, для эмульгирования материалов предназначены специальные кулачки, закрепленные на торцевой стороне вращающегося ротора 1 и съемной неподвижной крышке статора 2 по концентрическим окружностям. В рабочем положении кулачки ротора входят в кольцевые пазы между кулачками статора.

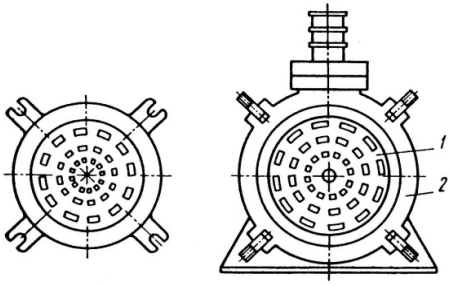


Рисунок 3.12 – Турбосмеситель:
1 – ротор; 2 – статор

Дезинтегратор отличается от турбосмесителя наличием второго ротора, установленного вместо неподвижной крышки и вращающегося в противоположную сторону. Относительная скорость кулачков при встречном движении увеличивается в два раза. Например, двухроторный гомогенизатор (рисунок 3.13) имеет корпус 3 с паровой рубашкой 10 и отверстиями для подвода пара к боковой крышке 4. В корпусе смонтированы конструктивно одинаковые роторы 7 и 8, установленные на одном общем валу 6 с ведущим шкивом 5. Внутренняя поверхность корпуса имеет две камеры – рабочую 2, в которой находятся лопасти ротора, и сборник готовой эмульсии эллиптического сечения. Между двумя камерами расположена рабочая щель с регулируемым зазором 9.

Эмульгируемые жидкости попадают в рабочую камеру через канал *1* в боковой крышке и продавливаются через зазоры между ротором и корпусом. Готовая эмульсия направляется в сборник и далее через патрубки в корпусе – в емкость готовой продукции.

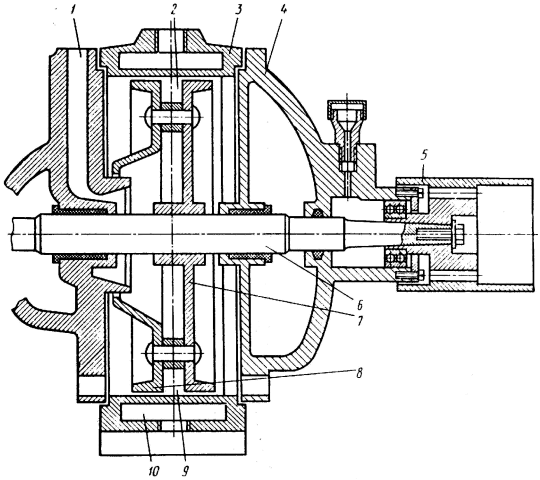


Рисунок 3.13 – Гомогенизатор роторного типа:
1 – канал; 2 – рабочая камера;
3 – корпус; 4 – боковая крышка;
5 – шкив;
6 – вал; 7, 8 – ротор;
9 – зазор; 10 – паровая рубашка

Технические характеристики двухроторного гомогенизатора приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – **Технические характеристики двухроторного гомогенизатора**

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

Примером дисковой конструкции ротора является центробежный двухдисковый гомогенизатор, представленный на рисунке 3.14. Он состоит из литого чугунного корпуса 1, установленного на фундаменте. Корпус снабжен обогревающей рубашкой 2, по которой через отверстия 3 пропускают пар. В цилиндрическую расточку корпуса вставлено сменное кольцо 4, внутренняя поверхность которого является рабочей. В нижней части крышек 5 и 6 имеются отверстия 8 для слива готовой эмульсии. На валу машины жестко насажен рабочий диск 9, к которому прикреплен второй рабочий диск 10. Вал вместе с рабочими дисками может перемещаться в осевом направлении. Внутренняя поверхность сменного кольца 4 и наружная поверхность дисков 9 и 10 имеют коническую форму, поэтому при осевом перемещении дисков радиальный рабочий зазор может меняться в пределах от 0,15 до 1,0 мм. Изменение зазора влияет на производительность и качество приготовляемой эмульсии: чем меньше зазор, тем тоньше дисперсия.

К верхней части корпуса крепится загрузочная воронка, снабженная сеткой. Внутри прилива имеется канал для подвода битума и раствора эмульгатора в рабочую полость гомогенизатора. Смесь битума и раствора поступает в пространство между вращающимися дисками. За счет центробежных сил жидкость поступает в зазор между внешней поверхностью дисков и внутренней поверхностью кольца, где благодаря трению происходит процесс формирования битумной эмульсии.

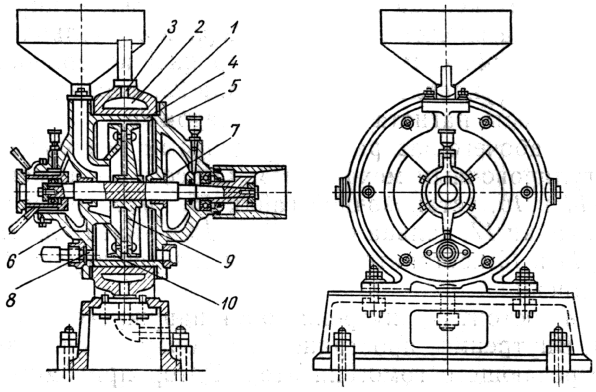


Рисунок 3.14 – Гомогенизатор двухдисковый:
1 – корпус; 2 – обогреваемая рубашка; 3 – отверстия для ввода пара;
4 – сменное кольцо корпуса; 5, 6 – крышки корпуса; 7 – сальник;
8 – отверстия для слива готовой эмульсии; 9, 10 – рабочие диски

Как уже было отмечено, одним из эффективных путей повышения производительности и качества битумной эмульсии является увеличение числа роторов. В качестве примера трехроторной машины на рисунке 3.15 показана схема трехступенчатого гомогенизатора. Он снабжен тремя дисками на

валу 10: диском 5 с рифленой поверхностью и двумя дисками 6 – с гладкой конической поверхностью. На внутренней поверхности корпуса напротив дисков укреплены кольцо 24 с рифленой поверхностью и два кольца 21 – с конической. Между гладкими кольцами вставлены распорные кольца 23, а между дисками – распорные кольца 9. В рабочем положении выступы рифленого диска входят в выточки рифленого кольца. На обоих гладких конических кольцах и на внутренней поверхности правой крышки корпуса укреплены перегородки 22, а на каждом из трех дисков – по шесть нагнетательных лопаток 25.

Ширину рабочего зазора между дисками и кольцами изменяют регулировочным механизмом. Он состоит из регулировочных гаек 14 и 15, установочной гайки 16, распорной втулки 13, стопорной гайки 17, кольца со шкалой 18 и указателя 19. Вращением гаек 14 и 15 поступательно перемещается втулка 11, а вместе с ней и диски. Корпус 4 состоит из внутреннего 8 и наружного 7 цилиндров и крышек 3. Внутреннее пространство в корпусе используется для пара, обогревающего гомогенизатор. Ротор приводит во вращение электродвигатель (мощностью 7 кВт) через клиноременную передачу 12. Эмульгируемые жидкости по приемному патрубку 2 поступают в устройство и проходят три ступени эмульгирования: вначале продавливаются через зазор между рифлеными, а затем последовательно через зазоры между гладкими коническими поверхностями. Готовая эмульсия подается через патрубок 20. Производительность такого гомогенизатора составляет около 3 т/ч.

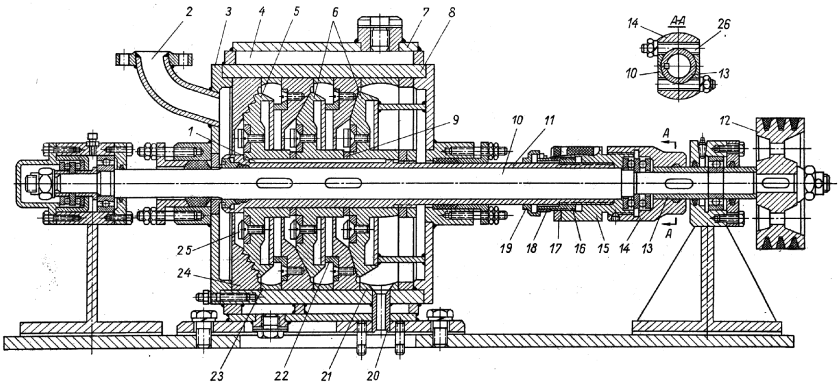


Рисунок 3.15 – Трехступенчатый гомогенизатор:
1 – шпонка; 2 – приемный патрубок; 3 – крышка; 4 – корпус; 5, 6 – диски; 7, 8 – наружный и внутренний цилиндры; 9, 23 – распорные кольца; 10 – вал; 11 – регулировочная втулка; 12 – шкив; 13 – распорная втулка; 14, 15 – регулировочные гайки; 16 – установочная гайка; 17 – стопорная гайка; 18 – кольцо; 19 – указатель; 20 – сливной патрубок; 21, 24 – рабочие кольца; 22 – перегородка; 25 – нагнетательная лопатка; 26 – болт

Приведенные конструкции гомогенизаторов имеют горизонтальное расположение рабочих элементов. Помимо этого, имеются конструкции с вертикальным расположением роторов. На рисунке 3.16 представлены трех- и

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

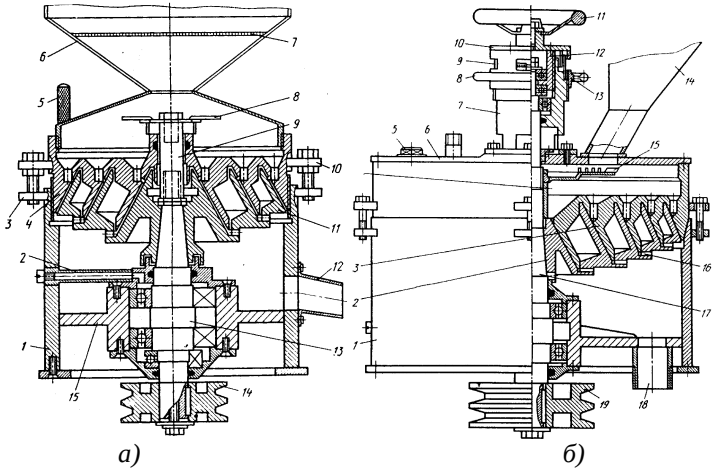


Рисунок 3.16 – Гомогенизатор с вертикальным валом:
а – трехщелевой:
1 – корпус; 2 – смазочная трубка; 3, 10 – установочное кольцо; 4 – статор; 5 – рукоятка; 6 – загрузочная воронка; 7 – сетка; 8 – распределитель; 9 – держатель; 11 – ротор; 12 – патрубок; 13 – вал; 14 – шкив; 15 – кронштейн;
б – пятищелевой:
1 – корпус; 2 – ротор; 3 – статор; 4 – приемная камера; 5 – пробка; 6 – крышка; 7 – цилиндр; 8 – нижний маховичок; 9 – уплотнительное кольцо; 10 – фланец; 11 – верхний маховичок; 12 – стакан; 13 – стопорная гайка; 14 – загрузочная воронка; 15 – распределитель; 16 – радиальные каналы; 17 – вал; 18 – сливной патрубок; 19 – шкив

Технические характеристики гомогенизаторов приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – **Технические характеристики гомогенизаторов с вертикальным расположением роторов**

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

В диспергаторе Бауэра (рисунок 3.17) формирование эмульсии происходит при постоянном зазоре между дисками ротора и статора, которые снабжены большим количеством отверстий. Благодаря этим отверстиям изменение скорости вращения вала адекватно изменению величины рабочего зазора между элементами рабочего органа. Битум и эмульгатор подают через приемную воронку 2.

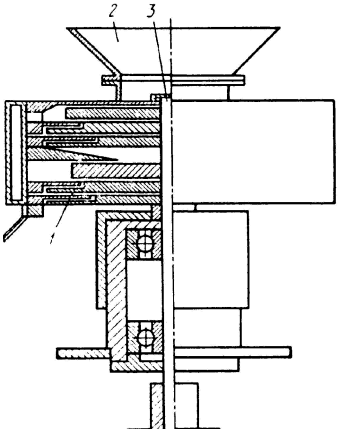


Рисунок 3.17 – Диспергатор Бауэра: 1 – диск; 2 – приемная воронка; 3 – вал

При вращении вала 3 на границе дисков 1 ротора и статора, имеющих большое количество сквозных отверстий, происходит срез битума в виде тонкой пленки. Эта пленка под действием поверхностного натяжения распадается на капли, которые в присутствии эмульгатора приобретают стабильное состояние. При проходе через отверстия других пар дисков происходит дальнейшее дробление капель. Таким образом, по технологическим возможностям этот диспергатор мало отличается от машин с регулируемым зазором.

Еще один пример конструкции гомогенизатора с нерегулируемым зазором представлен на рисунке 3.18. Отсутствие возможности регулирования зазора компенсируется многоступенчатым прохождением исходных компонентов смеси через рабочие органы гомогенизатора. Обрабатываемые компоненты из приемной воронки 1 поступают на верхнюю часть ротора 3, снабженного лопастями 2, которые их отбрасывают к стенкам корпуса. Далее компоненты проходят через зазор между стенками корпуса и ротором (первая ступень) и проталкиваются через лабиринтный зазор между кольцами 4 статора 5 (вторая ступень). И наконец, они перемещаются через гладкую щель между ротором и статором, расположенную ближе к оси вращения ротора (третья ступень), и выходят через отверстие 6.

Акустическое воздействие рабочих органов на исходные компоненты реализуют на установке, представленной на рисунке 3.19. Приготовление эмульсии осуществляют при помощи акустического вибратора 8, состоящего из штуцера, сопла и вибрирующей пластины. Необходимое количество битума и водного раствора эмульгатора подают в бак 6. Уровень жидкостей в баке должен быть таким, чтобы вибратор 8 оказался погруженным в жидкость, затем включают насос 2 и жидкость под давлением 0,6–0,8 МПа подают через фильтр 7 к вибратору. Пройдя через вибратор, жидкости возвращаются в бак 6. Непрерывная циркуляция продолжается до тех пор, пока в рабочем баке не образуется эмульсия. Вибратор наиболее эффективно ра-

ботает в режиме резонанса, когда частота собственных колебаний пластины будет совпадать с частотой вынужденных колебаний.

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

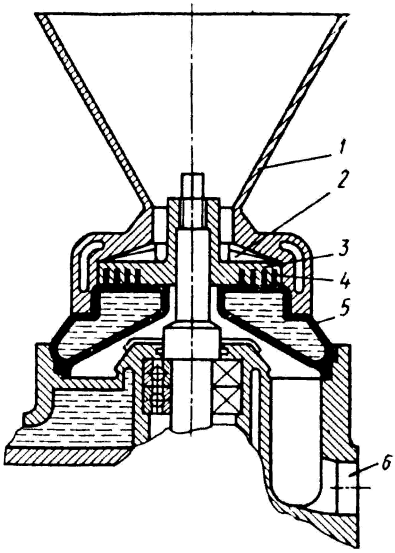


Рисунок 3.18 – Многоступенчатый гомогенизатор:
1 – приемная воронка; 2 – лопасть; 3 – ротор; 4 – кольцо; 5 – статор; 6 – отверстие

На рынке Беларуси представлены установки с коллоидными мельницами для производства битумных эмульсий ряда ведущих зарубежных фирм, в их числе немецкой «Breining (Fayat Group)», французских «Rinchevale (Fayat Group)» и «Emulbitume», шведской «Akzo Nobel», итальянской «Massenza», финской «Kalottikone», а также российских компаний. В зависимости от комплектации их производительность составляет от 3 до 50 т/ч.

В Беларуси аналогичное оборудование выпускают несколько компаний, например, минская «БелТЕН» производит установки непрерывного действия Катион-10 с комбинированной системой дозирования компонентов производительностью 10–12 т/ч; «Еврокомдормаш» (г. Минск) выпускает установки BiEM непрерывного действия производительностью от 3 до 12 т/ч с комбинированной системой дозирования компонентов и полуавтоматической системой управления.

Для приготовления эмульсий высокого качества из различных битумов необходимо регулировать параметры диспергатора (например, частоту вращения рабочего органа или величину зазора между его подвижными и неподвижными частями) для изменения интенсивности воздействия на компоненты эмульсии. Излишнее силовое воздействие на компоненты не способствует стабилизации эмульсии. В диспергаторе должно быть по возможности обеспечено получение эмульсии одноразовым воздействием рабочим органом на исходные компоненты по всему их объему.

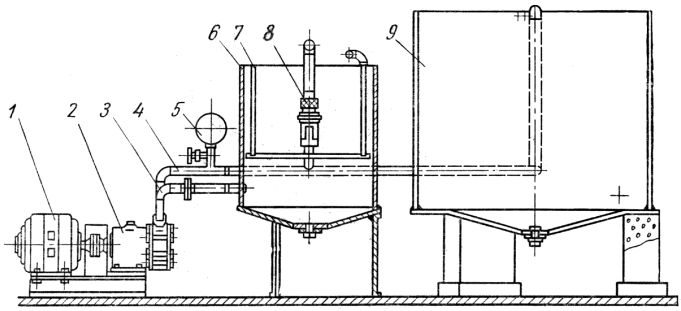


Рисунок 3.19 – Акустическая эмульсионная установка:
1 – электродвигатель; 2 – насос; 3 – всасывающий трубопровод; 4 – нагнетательный трубопровод; 5 – манометр; 6 – рабочий бак; 7 – фильтр; 8 – вибратор; 9 – резервуар для эмульсии

Для создания эмульсии с размером капель битума около 5 мкм с производительностью 5 т/ч требуется небольшая мощность – всего 10^{-2} кВт. Однако реальная мощность, необходимая для привода диспергатора такой производительности, на два порядка больше и составляет около 5 кВт, поскольку основная работа при эмульгировании затрачивается на перемещение жидкости и преодоление сил трения рабочих органов.

Одним из факторов, влияющих на мощность, является гидравлическое сопротивление элементов и агрегатов диспергатора, которое должно быть минимальным, чтобы снизить потери мощности.

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

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

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

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

Однородность эмульсии во многом зависит от размеров частиц битума и равномерности их распределения. Кроме того, на нее влияет конструкция диспергатора. Для повышения однородности битумной эмульсии рабочий орган должен обеспечивать одинаковое силовое воздействие на весь поток жидкости, проходящей через диспергатор. С этой целью при конструировании рабочую поверхность ротора и статора выполняют с продольными рифлениями и стремятся уменьшить конусность составных частей рабочего органа и приблизить их форму к цилиндрической, чтобы силовое воздействие на поток жидкости было практически одинаковым по всей поверхности ротора и статора.

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

В расчетах диспергатора принимают следующие допущения. Во-первых, форму ротора и статора принимают цилиндрической со средним диаметром D и высотой B (рисунок 3.20). Во-вторых, в роторе и статоре под углом α к основанию выполняют пазы рифлений, которые располагают друг относительно друга под углом $(180 - 2\alpha)^0$. В-третьих, ширину пазов и перемычек между ними считают одинаковой.

С учетом этих допущений суммарная площадь отверстий в роторе и статоре $S = \pi DB/4$. Как видно, она равна половине площади пазов ротора и статора и не зависит от угла наклона α и ширины δ пазов.

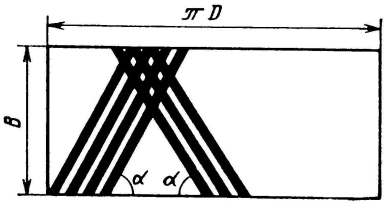


Рисунок 3.20 – Поверхности ротора и статора

Значение угла α определяют по формуле

$$\operatorname{arctg}\frac{2\delta}{\pi D} \le \alpha \le \operatorname{arctg}\frac{B}{2\delta}. \qquad (3.1)$$

Минимальное значение угла $\alpha_{\min} = \operatorname{arctg}(2\delta/\pi D)$ соответствует условию обеспечения заданной ширины паза и перемычки, максимальное $\alpha_{\max} = \operatorname{arctg}(B/2\delta)$ – условию обеспечения постоянства суммарной площади S отверстий при любом угле поворота ротора относительно статора.

При значениях угла α от $\operatorname{arctg}(B/2\delta)$ до $\pi/2$ среднее значение S (при одном обороте) сохраняется, а мгновенное значение изменяется в зависимости от угла поворота ротора, например, при $\alpha = \pi/2$ оно изменяется до $2S_{ср} = \pi DB/2$. Колебания значений S приводят к пульсации давления, что может сказаться на работе быстровращающегося ротора.

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

При частоте вращения n продолжительность существования каждого отверстия на рабочем органе $\Delta t = 2B\operatorname{ctg}\alpha/(\pi Dn)$, площадь каждого отверстия $S_1 = \delta^2/\sin 2\alpha$. При $\alpha = \pi/4$ $S_{1\min} = \delta^2$.

Объемный расход эмульсии, проходящий через отверстие,

$$V_1 = V\frac{S_1}{S} = \frac{4V\delta^2}{\pi DB\sin 2\alpha}, \qquad (3.2)$$

где V – объемный расход эмульсии через все отверстия.

Количество (объем) битума, проходящего через отверстие, определяют из выражения

$$K\Delta V = KV_1\Delta t = \frac{4V\delta^2 K}{\pi^2 D^2 n\sin 2\alpha}, \qquad (3.3)$$

где K – объемная доля битума в эмульсии;

ΔV – объем эмульсии, проходящей через отверстие.

Объем $K\Delta V$ битума примет форму нити длиной $B/\sin\alpha$, причем на это же расстояние переместится отверстие за промежуток времени Δt.

Площадь поперечного сечения и диаметр нити определяют по формулам

$$S' = \frac{K\Delta V\sin\alpha}{B} = \frac{4KV\delta^2}{\pi^2 D^2 B\, n\sin\alpha}, \qquad (3.4)$$

$$d' = \sqrt{\frac{4S'}{\pi}} = \frac{4\delta}{\pi D}\sqrt{\frac{KV}{\pi Bn\sin\alpha}}. \qquad (3.5)$$

Установлено, что при механическом диспергировании нить битума становится неустойчивой и самопроизвольно распадается, если $L >> \pi d$ (L – длина нити). Полагая максимальную длину отрезков, на которые распадается нить, $L = \pi d$, объем образующихся капель битума $\Delta V = SL$. Тогда максимальный диаметр битумных капель

$$d = \sqrt[3]{\frac{6\Delta V}{\pi}} = 1{,}2\frac{\delta}{D}\sqrt{\frac{KV}{B\sin\alpha}}. \qquad (3.6)$$

Необходимая частота вращения ротора для достижения заданной дисперсности эмульсии

$$n = 1{,}44\frac{KV\delta^2}{D^2 B\sin\alpha}. \qquad (3.7)$$

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

При $\alpha = \pi/2$ диаметр капель битума d и частоту вращения ротора n рассчитывают по формулам (3.6) и (3.7).

4 МАШИНЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

По степени капитальности (сроку службы) дорожные одежды автомобильных дорог разделяют на *усовершенствованные капитальные* со сроком службы 15–30 лет, *усовершенствованные облегченные* – со сроком 10–15 лет, *переходные* – со сроком до 6 лет и *низшие*, для которых срок службы не регламентирован.

4.1 Особенности технологических процессов

Ведущее место на дорогах Беларуси занимают асфальтобетонные покрытия. Они прочны и долговечны, легко ремонтируются. У них высокие технико-эксплуатационные показатели. Их износ не должен превышать 1,0–1,6 мм/год даже при тяжелом и интенсивном движении. В зависимости от типа основания и требований движения они имеют несколько слоев, отличающихся прочностью. Самым прочным является верхний рабочий слой покрытия, который контактирует с колесами автотранспортных средств. Кроме того, он должен иметь высокие показатели износостойкости, ровности и водонепроницаемости.

Строительство (устройство) дорожной одежды включает следующие мероприятия:

– строительство земляного полотна;

– строительство основания;

– строительство покрытий.

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

1) очистку полосы отвода (для строительства дороги) от кустарника, камней и растительного грунта – с помощью машин для подготовительных работ (кусторезов, рыхлителей, корчевателей);

2) планировку поверхности земляного полотна (с предварительным возведением насыпи или устройством корыта) – с помощью землеройно-транспортных машин (бульдозеров, скреперов, автогрейдеров);

3) уплотнение поверхности земляного полотна (на завершающей стадии – гладкими металлическими и пневматическими вальцами катков).

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

1) планировка верха дорожного полотна – с помощью автогрейдеров;

2) распределение дорожно-строительных материалов по поверхности полотна – с помощью распределителей (для щебня и гравия), а также с помощью бульдозеров и автогрейдеров (для песчано-гравийных смесей);

3) уплотнение материалов – с помощью катков с гладкими вальцами.

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

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

Технологический процесс устройства АБ покрытий из горячих и теплых смесей включает операции:

1) *подготовку основания*:

а) очистку основания от пыли и грязи – с помощью поливочно-моечных машин;

б) механическую очистку сухого основания – с помощью подметально-уборочных машин;

в) обработку сухого основания битумной эмульсией или жидким битумом – при помощи автогудронаторов;

2) *транспортирование горячей АБ смеси для нижнего слоя* – с использованием автосамосвалов;

3) *укладку и уплотнение смеси* – с помощью асфальтоукладчиков (АУ) и катков с гладкими вальцами;

4) *транспортирование смеси для верхнего слоя*;

5) *укладку и уплотнение смеси в верхнем слое;*

6) *отделочные работы* (исправление отдельных дефектов, выравнивание кромок обрубкой, подсыпка и укрепление обочин).

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

Транспортирование смеси к месту работы осуществляют автомобилями-самосвалами (после обязательной проверки на заводе качества и температу-

ры смеси). Температура смеси при укладке должна быть: для горячих – не менее 120 ^{o}C, для теплых – не менее 70–110 ^{o}C, для холодных – температура воздуха, но не ниже 10 ^{o}C.

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

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

4.2 Асфальтоукладчики

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

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

АУ классифицируют по следующим основным признакам:

1) *по принципу перемещения* – самоходные и прицепные машины, а также навесные приспособления;

2) *по ходовому оборудованию* – гусеничные, пневмоколесные и комбинированные;

3) *по производительности* (т/ч):

– легкие – до 25;

– средние – 25…150;

–тяжелые – 150…300;

– сверхтяжелые – более 300;

4) *по типоразмеру* их разделяют на группы в зависимости от ширины полосы укладки (мм):

I – 3000 ×100;

II –5000 × 200;

III – 8000 × 300;

IV – 12000 × 300;

5) *по типу приемного устройства* – бункерные (с активной и пассивной подачей смеси к рабочим органам) и безбункерные;

6) *по характеру воздействия* на АБ смесь – с уплотняющим рабочим органом и без него;

7) *по степени уплотнения* АБ смеси – с предварительным и с высоким уплотнением;

8) *по степени автоматизации* – полуавтоматические и автоматизированные;

9) *по комплектации* – с базовым комплектом рабочих органов и с набором дополнительного оборудования для различных укладочных технологий и материалов.

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

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

Ходовые системы АУ имеют свои особенности. *Гусеничный* ход обладает такими достоинствами, как малая чувствительность к неровностям дорожного основания, небольшое давление на основание и значительные тяговые усилия. Его предпочитают использовать при укладке холодных и крупнозернистых смесей, а также на АУ большой производительности, занятых на крупных объектах или в пересеченной местности. Гусеничные движители обеспечивают хорошую устойчивость и высокую точность укладки смеси независимо от дорожных условий, в том числе на подъемах и склонах. Однако у них низкая транспортная скорость (до 5 км/ч), что за-

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

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

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

На рисунке 4.1 представлена конструктивная схема колесного АУ (модели ДС-191.506). Его опорной базой является ходовая система, которая включает четыре задних ведущих пневмоколеса 17, 18, установленные на двух мостах, и четыре сдвоенных управляемых передних колеса 1, 4 (со сплошными шинами), установленные на балансирных тележках.

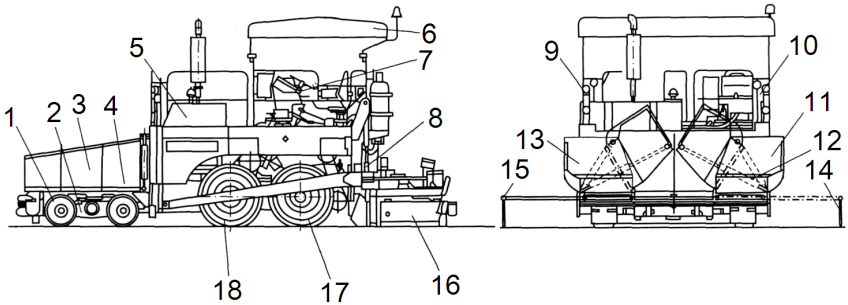


Рисунок 4.1– Схема пневмоколесного асфальтоукладчика:
1,4 – передние управляемые колеса; 2 – балансирная тележка; 3 – бункер; 5 – силовая установка; 6 – тент; 7 – пост управления; 8 – гидроподъемник; 9,10 – левый и правый пульты управления; 11,13 – левая и правая боковины бункера; 12 – гидроцилиндр управления положением боковины; 14,15 − высотные отметки при автоматическом контроле профиля покрытия; 16 – выглаживающая плита; 17,18 – задние ведущие колеса

Диаметр передних управляемых колес значительно (примерно в два раза) меньше, чем задних ведущих колес. Передние колеса одного борта закреплены на концах балансирной тележки 2, середина которой шарнирно соединена с рамой машины, что обеспечивает равномерное распределение давления на передние колеса. Дизельный двигатель приводит ходовую систему через регулируемый гидронасос, гидромотор, механическую коробку перемены передач и цепную передачу. Рабочее оборудование включает бункер 3 для смеси с управляемыми боковыми стенками 11,13 и скребковым питателем, а также винтовые распределительные шнеки, трамбующий вибробрус и выглаживающую плиту 16. Основные рабочие органы имеют гидравлический привод. АУ снабжают системой автоматического контроля количества укладываемой смеси в шнековой камере.

На рисунке 4.2 представлена конструктивная схема АУ с гусеничным ходовым оборудованием. Все механизмы и агрегаты установлены на нижней 11 и верхней 5 рамах, которые представляют собой цельносварные металлоконструкции, соединенные стойками. Нижняя рама 11 шарнирно связана с двумя гусеничными тележками; на ней установлено рабочее оборудование, в том числе бункер 10, скребковые питатели 20, распределительные шнеки 15, трамбующий брус 14 и выглаживающая плита 13. Как правило, выглаживающая плита является второй опорой машины (первая – гусеницы). На верхней раме 5 расположены силовая установка 19, трансмиссия 17, гидросистема 9, пульт управления 3, 6 и другие агрегаты.

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

На рисунке 4.3 представлена принципиальная схема рабочих органов бункерного самоходного АУ. Основными элементами рабочих органов являются *распределительный шнек, уплотняющий брус, выглаживающая плита*, а также отражательный щит, элементы управления толщиной и профилем наносимого покрытия, несущие конструкции (рамы, тяговые брусья и др.). *Технологический процесс укладки* АБ смеси с помощью АУ с бункерным приемным устройством включает следующие операции:

– приемка смеси в бункер 3 из самосвала;

– подача смеси из бункера 3 к распределительным шнекам 5 при помощи пластинчатого (скребкового) питателя 4 через регулируемую щель между заслонкой и питателем;

– распределение смеси шнеками 5 по ширине укладываемой полосы;

– разравнивание и уплотнение смеси с помощью бруса 2;

– отделка поверхности покрытия с помощью выглаживающей плиты 7.

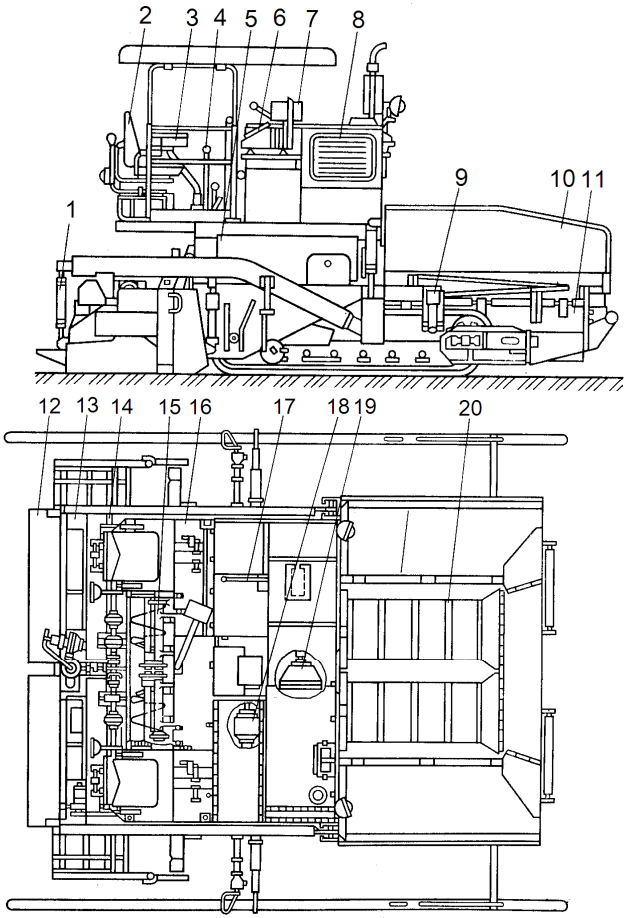


Рисунок 4.2 – Схема гусеничного асфальтоукладчика:
1 – гидроподъемник рабочих органов; 2 – сиденье; 3 – поворотный пульт; 4 – система управления; 5 – верхняя рама; 6 – пульт управления; 7 – электрооборудование; 8 – капот; 9 – гидросистема; 10 – бункер; 11 – нижняя рама; 12 – ступенька; 13 – выглаживающая плита; 14 – трамбующий брус; 15 – распределительный шнек; 16 – настил; 17 – коробка передач; 18 – гидромуфта; 19 – двигатель; 20 – скребковый конвейер-питатель

Смесь поступает из автосамосвала в бункер. Далее с помощью скребкового питателя она через регулируемую щель попадает на шнек, распределяющий массу смеси равномерно по всей ширине. Управление размерами щели производят с помощью шиберных или секторных заслонок. Размер щели обусловливает дозу смеси и толщину слоя материала на питателе. После этого смесь частично или полностью уплотняют трамбующим брусом и

выравнивают выглаживающей плитой. Затем при необходимости окончательное уплотнение смеси производят самоходными катками.

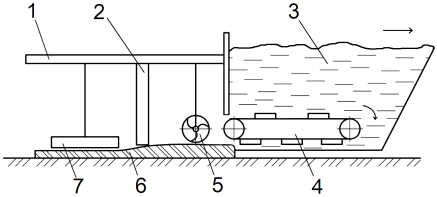


Рисунок 4.3 − Принципиальная схема рабочих органов асфальтоукладчика с бункерным приемным устройством:
1 – рама; 2 – уплотняющий брус; 3 – бункер; 4 – скребковый питатель;
5 –шнековый распределитель; 6 – укладываемый слой 7 – выглаживающая плита

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

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

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

Распределительный шнек состоит из двух секций с левой и правой навивками, которые имеют независимый привод каждой секции. Их общая

длина соответствует ширине укладываемой полосы. На большинстве АУ устанавливают общий привод секции (левой или правой) шнека и соответствующей (левой или правой) секции конвейера-питателя. Каждый такой привод состоит из регулируемого поршневого насоса, гидромотора, редуктора и цепной передачи. При этом подачу питателей и распределительных шнеков можно регулировать как вручную, так и автоматически с помощью специальной системы регулирования. В автоматическом режиме фактические величины подачи питателей и шнеков определяют размещенными над ними двумя лопастными щупами, которые выполняют роль датчиков. Любое изменение их положения преобразуется потенциометрами в импульс управления работой питателей и шнеков. По сигналам датчиков с помощью гидроцилиндров, работающих в автоматическом режиме, производят подъем – опускание шиберных заслонок, что соответственно увеличивает или уменьшает подачу смеси конвейерами-питателями в зону рабочих органов. В современных конструкциях для повышения точности оценки запаса смеси его измеряют с помощью ультразвуковых датчиков. Для обеспечения равномерного распределения смеси высоту установки шнеков можно регулировать с помощью гидроцилиндров в зависимости от толщины укладываемого слоя.

После шнека смесь попадает под *уплотняющий брус* и *выглаживающую плиту*.

Уплотняющий (трамбующий) брус предназначен для предварительного профилирования слоя уложенной шнеками смеси и ее уплотнения. Брус имеет раму и профилирующий нож, прикрепленный к нижней части рамы. Эта рама соединена шарнирами с шатунами эксцентрикового вала. Вал получает вращение от гидромотора через ременную передачу и сообщает его с заданным эксцентриситетом шатунам, которые, в свою очередь, обеспечивают возвратно-поступательные вертикальные движения трамбующему брусу. Гидропривод обеспечивает возможность бесступенчатого регулирования частоты колебаний трамбующего бруса. Конструктивно брус состоит из двух шарнирно связанных половин, каждая из которых снабжена отражательным щитом. Щит служит для перемещения призмы волочения смеси, находящейся перед рабочим органом, а также для предохранения бруса от налипания смеси (его располагают под углом к направлению движения).

Выглаживающая плита также состоит из двух шарнирно-сочлененных половин с механизмом регулирования поперечного профиля и толщины покрытия, которые образуют жесткую конструкцию. Плита имеет раму, к которой снизу крепят подошву плиты. Подошва имеет гладкую поверхность и обеспечивает выглаживание верхнего слоя укладываемой смеси. К раме на консоли крепят настил, по которому перемещается обслуживающий персонал. Большинство моделей АУ оборудованы системой подогрева плиты, трамбующих брусьев и прессующих планок. Для этих целей используют

электронагрев или нагрев от сжигания сжиженного газа или жидкого топлива. Плиту располагают перпендикулярно направлению движения под некоторым углом атаки, чтобы задняя кромка плиты находилась ниже передней. Давление плиты на смесь составляет 0,1–0,2 МПа, которого вполне достаточно для создания необходимого профиля покрытия (плоского горизонтального, односкатного или двухскатного). По характеру работы плиты различают *системы с плитами статического и вибрационного воздействия*.

В современных АУ применяют систему рабочих органов *брус – плита* двух типов.

Первый тип, описанный выше, *предназначен для предварительного уплотнения* и состоит из одного бруса и одной плиты. По взаимному расположению бруса и плиты различают *разделенные* и *неразделенные системы* (в современных АУ используют разделенные).

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

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

Агрегат дополнительного уплотнения представляет собой *два трамбующих бруса* (другое название – *планки*) и *вторую выглаживающую виброплиту*. *Первая трамбующая планка* обеспечивает уплотнение покрытия под давлением от 5 до 15 МПа. *Вторая планка* усиливает и стабилизирует достигнутый эффект уплотнения. Давление прессования планок реализуется с помощью гидроцилиндров, обеспечивающих импульсное давление на покрытие с частотой от 35 до 70 Гц (посредством изменения частоты вращения вала гидромотора, связанного с поворотным золотником). Агрегат дополнительного уплотнения увеличивает плотность слоя на 8–9 %, что равнозначно четырехкратному проходу катка массой 4 т.

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

На рисунке 4.4 показан рабочий орган высокого уплотнения, который включает трамбующий брус предварительного уплотнения 4, основной трамбующий брус 5, а также выглаживающую виброплиту 8. Как видно из рисунка, трамбующий брус имеет сменный нож (из износостойкой стали), нижняя кромка которого имеет специальный профиль, позволяющий лучше уплотнять укладываемую смесь. АУ с оборудованием высокого уплотнения может эксплуатироваться (в зависимости от решаемых задач) как в режиме предварительного уплотнения, так и в режиме высокого уплотнения.

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

Большинство современных АУ имеют *распределительную* и *уплотняющую системы переменной ширины*. Как правило, АУ оснащают набором *сменных рабочих органов*, который включает рабочее оборудование стандартной ширины (рисунок 4.5, *а*), телескопические раздвижные уширители с гидроприводом (рисунок 4.5, *б*), а также приставные, механически присоединяемые (модульные) уширители (рисунок 4.5, *в*). В зависимости от типоразмера машины они позволяют укладывать слои АБ покрытия шириной от 0,5 до 16 м. *Стандартные рабочие органы* применяют в основном для устройства магистралей и городских улиц, где требуются высокая точность профиля и равномерное уплотнение АБ смеси по всей ширине полосы. Их рабочую ширину можно увеличивать различными способами:

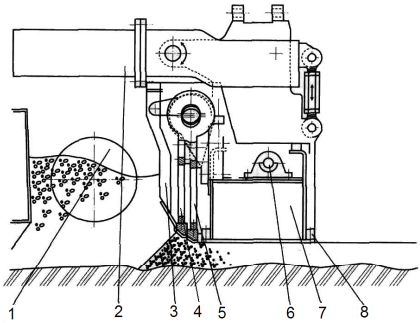


Рисунок 4.4 – Схема блока рабочих органов высокого уплотнения:
1 – распределительный шнек; 2– боковой несущий рычаг; 3 – выравнивающий щит; 4 – трамбующий брус предварительного уплотнения; 5 – основной трамбующий брус; 6 – вибратор; 7 – кожух обогревателя выглаживающей плиты; 8 – выглаживающая плита

1) *дискретно, т.е. ступенчато* – с помощью приставных съемных уширителей 5, 6 (см. рисунок 4.5, *в*);

2) *бесступенчато* – с помощью раздвижных телескопических уширителей 4 (см. рисунок 4.5, *б*);

3) совместным использованием приставных и раздвижных уширителей (см. рисунок 4.5, *г*).

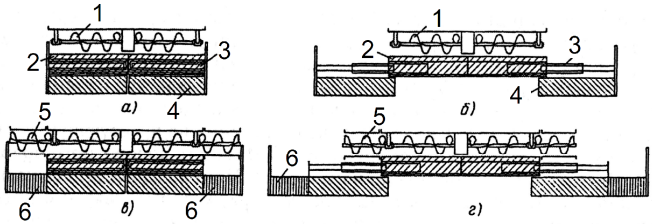


Рисунок 4.5 – Схемы изменения ширины укладки:

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

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

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

Бесступенчатое увеличение ширины с помощью *телескопических раздвижных рабочих органов* позволяет проводить переналадку по ширине без остановки процесса укладки, что очень эффективно при формировании дорожного покрытия с изменяющейся шириной. Кроме того, телескопические уширители обеспечивают более высокое качество укладки смеси по сравнению с приставными уширителями. Механизм выдвижения бруса или плиты имеет гидравлический привод и состоит из двухступенчатой выдвижной телескопической трубы с устройством для ее фиксации от поворота. Более предпочтительным является также использование телескопических распределительных шнеков с гидравлическим приводом их выдвижения.

В таблице 4.1 представлены сведения о типоразмерном ряде гусеничных АУ фирмы «Vogele». Данные по ширине характеризуют базовую и максимальную ширину рабочих органов. Как видно из таблицы, базовая ширина стандартных рабочих органов значительно меньше (всего 1,1 м – для мини-укладчика Super 600 и 3,0 м – для широкозахватной модели Super 2500), чем максимальная ширина укладки, которая достигается с помощью дополнительных уширителей. Дизельные двигатели с жидкостным охлаждением обеспечивают необходимые тяговые усилия при эксплуатации в самых жестких условиях. Постоянная скорость движения при укладке смеси поддерживается с помощью электронной системы управления работой двигателя. Гусеничная ходовая система с удлиненными гусеницами имеет хорошую устойчивость и высокую точность укладки на подъемах и склонах, а также при плохих дорожных условиях. Рабочие органы высокого уплотнения при использовании оригинального генератора импульсов давления рабочей жидкости обеспечивают уплотнение слоя, достигающее 98 % от нормативных показателей без укатки. Конструктивные особенности данных машин

позволяют применять передовые технологии дорожного строительства, обеспечивающие сохранение окружающей среды за счет снижения шума и вибрации, а также загрязнения атмосферы выбросами углекислого газа.

Таблица 4.1 – **Технические характеристики гусеничных асфальтоукладчиков***

Модель	*B*, м	П, т/ч	*N*, кВт	*h*, мм	*V*, т
Super 600	1,1/2,7	200	45	150	5
Super 800	1,1/3,2	250	45	200	5
Super 1100-2	1,8/4,2	300	56	200	10
Super 1300-2	1,8/4,5	350	65	250	10
Super 1600-2	2,5/8,0	600	100	300	13
Super 1800-2	2,5/10,0	700	130	300	13
Super 1900-2	2,5/11,0	900	142	300	14
Super 2100-2	2,5/13,0	1100	182	300	14
Super 2500	3,0/16,0	1500	273	400	17,5

* *B*– ширина укладки слоя: в числителе – базовая, в знаменателе – максимальная; П – производительность; *N* – мощность двигателя; *h* –толщина укладываемого слоя; *V* – вместимость бункера

АУ снабжают *автоматическими следящими системами*, обеспечивающими ровность покрытия по сигналам датчиков продольного и поперечного профилей. В машинах, производимых в Союзном государстве РФ и РБ, используют автоматическую систему «Стабилослой». Например, «Стабилослой-20» обеспечивает стабилизацию положения выглаживающей плиты относительно заданных ориентиров и соблюдение заданных продольного и поперечного профилей слоя покрытия. На рисунке 4.6 представлена принципиальная схема расположения датчиков системы «Стабилослой-20». В этой системе посредством датчиков сравнивается реальное положение рабочего органа АУ с тем его положением, которое необходимо для поддержания заданных параметров продольного и поперечного профилей, а также толщины слоя покрытия. По сигналу рассогласования исполнительное золотниковое устройство 1 с помощью гидроцилиндров 5 изменяет положение рабочих органов до исчезновения сигнала. Необходимое положение рабочих органов задается с помощью копира. Копиром может служить поверхность покрытия соседней полосы, луч лазера или направляющий трос, как на схеме рисунка 4.6. Сигналы от датчиков (6, 8 и 4) поступают к электромагнитам 1 золотниковых распределителей, которые управляют гидроцилиндрами точек подвески тяговых брусьев. Подъемный механизм 3 используют для установки датчика продольного профиля по высоте при настройке системы автоматики. Этот датчик предназначен для автоматического выдерживания заданного продольного профиля.

Помимо этих систем, автоматизированы многие операции по управлению машиной, в том числе:

– контроль толщины укладываемого слоя;
– постоянство скорости и направления движения машины;
– регулирование количества смеси в шнековой камере;

– поддержание требуемых величин параметров (температуры и давления на слой) выглаживающей плиты;

– контроль параметров двигателя, ходовой системы и гидрооборудования.

В качестве примера современной системы управления можно привести центральную панель управления, которую устанавливают на АУ фирмы «Volvo». С ее помощью выполняются следующие функции:

– выбор и управление параметрами рабочих органов (конвейеров, шнеков, брусьев и плит) машины и технологических режимов укладки;

– регулирование частоты вращения коленчатого вала;

– управление положением боковин бункера и передней заслонки;

– переключение режимов (автоматического и ручного) работы шнеков и конвейеров;

– реверс лент конвейеров (для устранения их загрязнения смесью);

– холостой ход привода рабочих органов (для чистки конвейеров, шнеков, брусьев или прогрева их приводов);

– разгрузка рабочих органов;

– контроль за работой двигателя и рабочих органов (на основании параметрической информации, выведенной на дисплей).

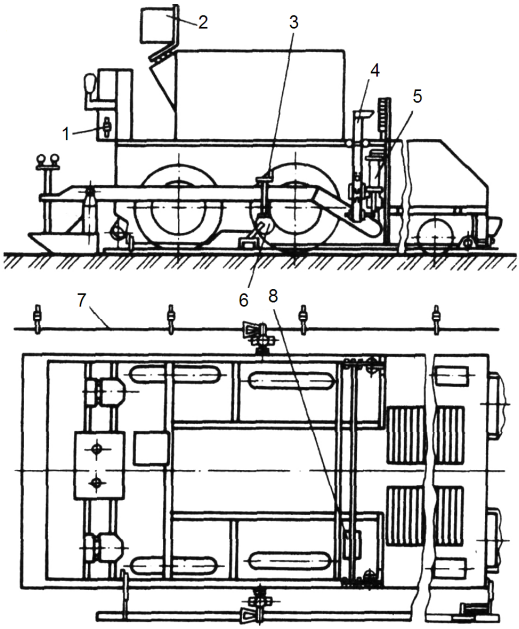


Рисунок 4.6 – Схема расположения элементов автоматики «Стабилослой-20»:
1 – золотниковое распределительное устройство; 2 – пульт управления; 3 – подъемный механизм; 4 – датчик толщины укладываемого слоя; 5 – гидроцилиндр управления положением рабочих органов; 6 – датчик продольного профиля покрытия;7 – направляющий трос; 8 – датчик поперечного профиля покрытия

Ходовая система современных АУ гидрофицирована, в частности, гидропривод *гусеничного хода (с двумя гусеницами)* включает регулируемые поршневые насосы для питания двух поршневых регулируемых (как правило, двухскоростных) гидромоторов – по одному на каждую гусеницу. Раздельный привод гусениц обеспечивает высокую маневренность АУ и позволяет поддерживать постоянными его тяговые характеристики. Привод включает гидронасос, гидромотор, зубчатый редуктор и двухступенчатую планетарную передачу. Гусеничные ленты оборудуют резиновыми или полимерными башмаками (плитами).

Значительная часть выпускаемых АУ имеют резиновый гусеничный ход из-за преимуществ резиновых гусениц в транспортной скорости и затратах на обслуживание по сравнению с традиционными гусеницами. Резиновые гусеницы обеспечивают устойчивое и бесшумное перемещение АУ со скоростью до 10–11 км/ч. Имеются сведения, что почти половину современных АУ, которые выпускают ведущие производители (фирмы «Blaw-Knox», «Caterpillar», «Cedarapids», «Vogele»), представляют машины с резиновыми гусеницами. На рисунке 4.7 представлена конструктивная схема АУ на резиногусеничном ходу.

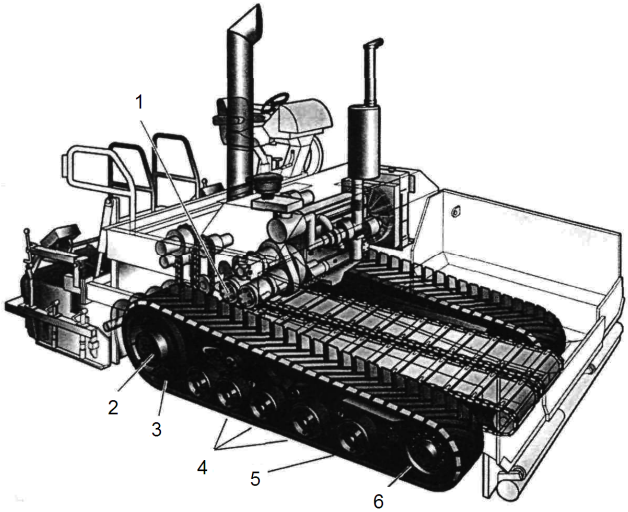


Рисунок 4.7– Схема асфальтоукладчика на резиновом гусеничном ходу:
1 – регулируемый гидронасос привода хода; 2 – планетарный редуктор; 3 – приводное фрикционное колесо; 4 – катки балансирные с резиновым покрытием; 5 – гусеничная лента; 6 − натяжное колесо

Пневмоколесные АУ способны перемещаться с одной строительной площадки на другую самостоятельно, не прибегая к дорогостоящей перевозке трейлерами. Им разрешено передвигаться по дорогам общественного пользования, на которых они могут развивать скорость до 20 км/ч. Привод

хода включает регулируемый поршневой насос, поршневой гидромотор, механически управляемую коробку переключения передач и ведущий мост. В свою очередь, вращение на ведущие колеса с моста передают цепные передачи. В зависимости от типоразмера пневмоколесные АУ могут иметь двух-, трех- или четырехосное шасси с *полным* или *неполным приводом*. Удлинение колесной базы, применение качающейся подвески направляющих колес, а также использование полноприводных ходовых систем обеспечивает высокое качество укладки колесными АУ, не уступающее гусеничным машинам.

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

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

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

Особенности различных типов ходовой системы влияют на габариты рабочих органов. Устойчивость и повышенные тяговые характеристики гусеничной ходовой системы позволяют увеличить ширину рабочих органов тяжелых и сверхтяжелых АУ до 16 м. Для колесных АУ высокое качество уложенной смеси достигается при меньших размерах уширителей. Об этом свидетельствуют данные таблиц 4.1 и 4.2.

В таблице 4.2 представлены технические характеристики колесных АУ производства предприятия «Брянский Арсенал». Они предназначены для приема, распределения по заданной ширине полосы дороги, укладки и предварительного уплотнения асфальтобетонных и битумоминеральных смесей. Рабочие органы (предварительного уплотнения) включают виброб-рус и виброплиту (или же только вибробрус) с гидроприводом управления колебаниями. АУ оборудуют гидрообъемной ходовой трансмиссией, которая обеспечивает бесступенчатое регулирование скорости и реверсирование движения АУ в рабочем и транспортном режимах. Электрогидравлический сервопривод позволяет после вынужденных кратковременных остановок возобновить движение с заданной скоростью без вмешательства машиниста.

Таблица 4.2 – **Технические характеристики колесных асфальтоукладчиков**

Параметр	АСФ-К-2-02	ДС-191.504	АСФ-К-3-03	ДС-181	ДС-191.506
Ширина укладки, м	3,75	4,5	6,5	4,5	6,2
Толщина слоя, мм	250	300	300	230	300
Вместимость бункера, т	8	14	12	18	16
Масса, т	13,0	17,5	18,5	19,5	20,1
Скорость, км/ч	10	30	10	60	30
Производительность, т/ч	300	450	170	490	510
Мощность, кВт	57,4	74,0	90,4	77,2	90,4

Внушительную вместимость бункеров (при наличии габаритных ограничений на ширину АУ) обеспечивают откидывающиеся борта. Такая конструкция бортов уменьшает количество неиспользованной смеси на стенках бункера и сохраняет температуру смеси при их закрывании. Ходовое устройство, как правило, включает два задних моста с четырьмя ведущими пневмоколесами, а также четыре сдвоенных гидравлически управляемых передних колеса со сплошными шинами. Вращение от мостов на ведущие колеса передается с помощью втулочно-роликовой цепи. Органы управления размещены на перемещаемом пульте с рулевой колонкой (или на двух пультах).

Гидросистема современных АУ является многопоточной и состоит из ряда независимых контуров. Дизельный двигатель через муфту сцепления и редуктор приводит несколько гидронасосов, питающих рабочей жидкостью гидромоторы ряда приводов.

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

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

В-третьих, *приводы трамбующих брусьев и вибраторов, а также приводы выглаживающих плит (прессующих планок)*.

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

Таким образом, в современных АУ имеется семь–девять независимых контуров. Управление агрегатами и рабочими органами машины осуществляют с центральной панели управления, на которой все элементы и индикаторы систематизированы по функциональным блокам. С ее помощью управляют основными функциями укладки и рабочими характеристиками машины. Кроме того, на панели имеется дисплей, на который выводятся основная параметрическая информация и данные о работе силовой установки и рабочих органов АУ.

Потребитель предъявляет разносторонние и очень жесткие требования к машинам, что отражается на их комплектации. Для реализации современных технологий создания и восстановления дорожных покрытий, в том числе многофункциональных, водопроницаемых (обезвоженных), малошумных и др., машины оснащают легкосъемными дополнительными рабочими органами, способными перерабатывать различные составы асфальтобетонных смесей, в том числе из вторично используемых материалов, а также цементобетонных смесей. Их также снабжают различными техническими системами, включая устройства регулирования высоты укладки и уплотнения смесей, датчики индикации и регистрации рабочих характеристик и др.

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

Ряд моделей АУ снабжают *дополнительным оборудованием* для *укладки покрытий из валков*, для чего в приемном бункере устанавливают дополнительный пластинчатый конвейер с гидроприводом. Укладку АБ смеси в виде валков вдоль дороги осуществляют самосвалами, что позволяет быстро их разгрузить, а также исключить скопление машин перед АУ. Возможность загрузки смеси из валков увеличивает накопительную способность бункера и обеспечивает непрерывную работу укладчика, исключая дополнительную настройку выглаживающей плиты после остановок АУ для разгрузки автомобилей со смесью. Для предотвращения загрязнения смеси материалом основания дорожной одежды предусмотрена система регулирования высоты забора смеси из валков.

В комплекте с АУ большой производительности в качестве дополнительного оборудования могут применяться *самоходные конвейеры-перегружатели*, которые обеспечивают более ритмичное пополнение запаса смеси в бункере и исключают колебания нагрузки и скорости АУ при подходе и отходе автосамосвалов.

К основным направлениям совершенствования АУ следует отнести следующие:

1) разработка мероприятий по поддержанию необходимого уровня экологической безопасности АУ, включая использование дизельных двигателей с

электронным управлением, обеспечивающих снижение уровня шума и вибрации, а также выбросов CO_2 при эксплуатации применяемого оборудования;

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

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

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

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

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

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

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

Тяговый расчет. При работе АУ возникают следующие сопротивления:

1) перемещению АУ;

2) перемещению призмы волочения смеси;

3) перемещению груженого автосамосвала;

4) сил трения рабочих органов по поверхности смеси;

5) сил инерции АУ и автосамосвала при движении после их остановки.

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

$$T \geq W\ . \qquad (4.1)$$

Общая сила сопротивления W включает следующие составляющие:

1) *сопротивление* (Н) *перемещению АУ как тележки*

$$W_{\text{пер}} = (G_{\text{у}} + G_{\text{см}})(f_1 + i)\ , \qquad (4.2)$$

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

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

i – наибольший продольный уклон, i = 0,03…0,07;

2) *сопротивление* (Н) *перемещению призмы волочения* перед рабочими органами укладчика

$$W_{\text{пр}} = \mu_2 G_{\text{пр}}\ , \qquad (4.3)$$

где μ_2 – коэффициент внутреннего трения смеси, μ_2 = 0,7…0,8;

$G_{\text{пр}}$ – сила тяжести смеси в призме волочения, Н.

Сила тяжести призмы (кН)

$$G_{\text{пр}} = \frac{1}{3}\rho_{\text{н}} g B h_{\text{пр}}^2\ , \qquad (4.4)$$

где $\rho_{\text{н}}$ – насыпная плотность укладываемой смеси, $\rho_{\text{н}} = 1{,}8$ т/м^3;

B – ширина укладываемого слоя, м;

$h_{\text{пр}}$ – высота призмы, м;

3) *сопротивление* (Н) *перемещению груженого автосамосвала*

$$W_{\text{с}} = (G_{\text{с}} + G_{\text{см}}^{\text{с}})(f_1 + i)\ , \qquad (4.5)$$

где $G_{\text{с}}, G_{\text{см}}^{\text{с}}$ – силы тяжести автосамосвала и смеси в самосвале, Н;

4) *сопротивление* (Н) *силам трения рабочих органов* по укладываемой смеси

$$W_{\text{тр}} = \mu_1 G_{\text{р}}\ , \qquad (4.6)$$

где μ_1 – коэффициент трения скольжения рабочих органов по смеси, $\mu_1 = 0{,}5...0{,}6$;

$G_{\text{р}}$ – сила тяжести рабочих органов, Н;

5) *сопротивление* (Н) *сил инерции* АУ и автосамосвала при возобновлении движения после вынужденных остановок

$$W_{ин} = \frac{G_у + G_{см} + G_с}{g} \cdot \frac{\upsilon_р}{t_{раз}}, \qquad (4.7)$$

где $\upsilon_р$ – рабочая скорость АУ, м/с;

$t_{раз}$ – время разгона до рабочей скорости, $t_{раз}$ = 1…2 с.

Общее сопротивление

$$W = W_{пер} + W_{пр} + W_с + W_{тр} + W_{ин}. \qquad (4.8)$$

Для обеспечения работы АУ без пробуксовки необходимо проверить возможность его передвижения по условиям сцепления, используя уравнение тягового баланса. Должно выполняться условие

$$\varphi_{сц} G_у \geq W, \qquad (4.9)$$

где $\varphi_{сц}$ – коэффициент сцепления движителя с основанием, $\varphi_{сц} = 0{,}3...0{,}5$.

Производительность АУ можно оценить в двух вариантах:

$$П_1 = 3600 к_в \rho_у h_{сл} B \upsilon_р \ \text{(т/ч)} \qquad (4.10)$$

или

$$П_2 = 3600 к_в B \upsilon_р \ \text{(м}^2\text{/ч)}, \qquad (4.11)$$

где $к_в$ – коэффициент использования рабочего времени, $к_в$ = 0,85…0,90;

$\rho_у$ – плотность уплотненного материала, т/м^3;

$h_{сл}$ – толщина укладываемого уплотненного слоя, м.

В расчетах эксплуатационных характеристик механизмов (вместимости бункера, производительности пластинчатого питателя, производительности шнека) следует учитывать необходимость согласованности их работы.

Необходимая вместимость (м^3) бункера

$$V_б = \frac{П_1 t_п}{60 к_н \rho_н}, \qquad (4.12)$$

где $t_п$ – продолжительность паузы между разгрузками смеси из автосамосвала в бункер, $t_п$ = 2,0…2,5 мин;

$к_н$ – коэффициент наполнения бункера, $к_н$ = 0,6…0,7.

Производительность (т/ч) *пластинчатого питателя*

$$П_п = 60\rho_н b_п h_щ \upsilon_п, \qquad (4.13)$$

где $b_п$ – ширина питателя, м;

$h_щ$ – высота щели между питателем и заслонкой, м;

$\upsilon_п$ – скорость ленты питателя, м/мин.

Суммарная производительность двух питателей должна составлять $1{,}5\,П_1$, тогда при выбранной скорости $\upsilon_п$ высота щели (м) питателя

$$h_щ = \frac{1{,}5П_1}{60к_п\rho_н i b_п \upsilon_п}, \qquad (4.14)$$

где $к_п$ – скоростной коэффициент производительности, $к_п = 0{,}8$;

i – число питателей, $i = 2$.

Производительность (т/ч) *распределительного шнека*

$$П_ш = 3600к_п к_з \rho_н D_ш^2 t_ш n_ш, \qquad (4.15)$$

где $к_п$ – коэффициент снижения производительности из-за проскальзывания и прессования смеси, $к_п = 0{,}9$;

$к_з$ – коэффициент заполнения сечения, $к_з = 0{,}7$;

$D_ш$ – диаметр шнека,

$$D_ш = \begin{cases} 0{,}20...0{,}25\ м, \\ 0{,}30\ м, \\ 0{,}35...0{,}40\ м; \end{cases}$$

$t_ш$ – шаг шнека, $t_ш \approx D_ш$;

$n_ш$ – частота вращения шнека, $n_ш = 70…80$ об/с.

Производительность шнека должна быть не меньше производительности одного питателя:

$$П_ш \approx 1{,}3П_п. \qquad (4.16)$$

Баланс мощности. При определении мощности силовой установки АУ следует учитывать мощность, идущую на преодоление сопротивлений перемещению, а также мощности приводов отдельных механизмов: пластинчатых питателей, шнеков, трамбующих брусьев, вибрационных плит и вспомогательных механизмов.

Общая мощность двигателя АУ является суммой мощностей, расходуемых на обеспечение необходимых тяговых характеристик, а также мощности, необходимой для привода всех механизмов:

$$N = N_{пер} + n_п N_п + n_ш N_ш + n_б N_б + n_{пл} N_{пл} + N_{вс}, \qquad (4.17)$$

где $n_п$, $n_ш$, $n_б$, $n_{пл}$ – число питателей, шнеков, трамбующих брусьев и вибрационных плит соответственно.

Транспортную скорость АУ определяют по выбранной мощности двигателя.

Мощность, затрачиваемую на передвижение АУ (кВт), определяют по формуле

$$N_{пер} = W\upsilon_р /(1000\eta_т), \tag{4.18}$$

где $\eta_т$ – КПД трансмиссии АУ.

Мощность привода питателя расходуется на перемещение и подъем материала, а также на преодоление сил внутреннего трения, возникающих при перемещении смеси питателем в бункере.

При горизонтальном расположении питателя его *мощность привода* (кВт) находят из выражения

$$N_п = \kappa_д W_п \upsilon_ц /(1000\eta_{пп}), \tag{4.19}$$

где $\kappa_д$ – коэффициент динамичности, $\kappa_д = 1{,}2\ldots1{,}3$;

$W_п$ – сила сопротивления перемещению смеси и цепей со скребками, Н;

$\upsilon_ц$ – скорость движения цепи питателя, $\upsilon_ц = 0{,}5...0{,}6$ м/с;

$\eta_{пп}$ – КПД привода питателя, $\eta_{пп} = 0{,}9$.

Силу сопротивления (Н) *перемещению* определяют по формуле

$$W_п = \omega_{ст}\rho_н gbhL, \tag{4.20}$$

где $\omega_{ст}$ – коэффициент сопротивления транспортированию смеси, $\omega_{ст} = 0{,}2\ldots0{,}3$;

L – длина транспортера-питателя, м.

*Мощность привода (*кВт) *распределительного шнека*

$$N_ш = \kappa_р \kappa_{см} \kappa_з gL_ш \Pi_ш /(3600\eta_{пш}), \tag{4.21}$$

где $\kappa_р$ – коэффициент, учитывающий расход смеси, $\kappa_р = 0{,}6$;

$\kappa_{см}$ – коэффициент, учитывающий технологические характеристики смеси, $\kappa_{см} = 5$;

$\kappa_з$ – коэффициент запаса, учитывающий подпор смеси под действием питателя, $\kappa_з = 1{,}5$;

$L_ш$ – максимальный путь перемещения смеси вдоль шнеков по ширине (для двух шнеков $L_ш = B$), м;

$\eta_{пш}$ – КПД привода шнека, $\eta_{пш} = 0{,}9$.

Мощность привода трамбующего бруса расходуется на преодоление сил трения бруса о смесь и выглаживающую плиту, а также на преодоление сил сопротивления смеси при ее уплотнении трамбующим брусом.

Сила трения (Н) *трамбующего бруса о смесь* при его возвратно-поступательном движении

$$F_{см} = \mu_1 W_{пр}, \tag{4.22}$$

где μ_1 – коэффициент трения бруса по смеси, $\mu_1 = 0{,}5...0{,}6$;

$W_{пр}$ – сила сопротивления перемещению призмы смеси перед брусом, Н (для ее оценки используют формулу (4.3)).

Сила трения бруса (Н) *о выглаживающую плиту*

$$F_{пл} = f_{пл}(W_{пр} + S_{пр}), \tag{4.23}$$

где $f_{пл}$ – коэффициент трения трамбующего бруса о плиту, $f_{пл}$ = 0,2…0,3;

$S_{пр}$ – усилие поджимной пружины, Н.

Для упрощения расчета не учитывают давление пружины, т.е.

$$F_{пл} = f_{пл} W_{пр}, \tag{4.24}$$

Таким образом, общая сила трения (Н) складывается из сил, выраженных формулами (4.22) и (4.24):

$$F = F_{см} + F_{пл}. \tag{4.25}$$

Работа (Дж) *общей силы трения* за один оборот дебалансного вала привода трамбующего бруса

$$A_{тр} = 4eF, \tag{4.26}$$

где e – эксцентриситет дебалансного вала, e = 0,005…0,007 м.

Работу (Дж) *по уплотнению брусом смеси* (также за один оборот вращения дебалансного вала) находят из выражения

$$A_{уп} = 4eP_{уп}, \tag{4.27}$$

где $P_{уп}$ – вертикальная сила давления бруса на смесь при ее трамбовке, Н,

$$P_{уп} = p_{уп} S_{бр}, \tag{4.28}$$

$p_{уп}$ – удельное сопротивление смеси воздействию бруса при уплотнении, $p_{уп}$ = 10 кПа;

$S_{бр}$ – площадь контакта трамбующего бруса со смесью, м^2;

$$S_{бр} = Bt_н\,, \qquad (4.29)$$

B – длина бруса (ширина уплотняемой полосы), м;

$t_н$ – толщина ножа, равная ширине кромки борта бруса (поскольку смесь частично уплотняется скосом бруса), $t_н$ = 0,015 м.

Суммарная работа трамбующего бруса складывается из суммы работ по формулам (4.26) и (4.27):

$$A = A_{тр} + A_{уп} = 4e(F + P_{уп})\,. \qquad (4.30)$$

С учетом (4.28) *мощность* (кВт), *расходуемая на работу трамбующего бруса*,

$$N_б = \beta_{нн} A n_б /(1000\eta_{пб})\,, \qquad (4.31)$$

где $\beta_{нн}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность нагрузки из-за сил инерции и силы тяжести бруса, $\beta_{нн} = 1{,}3...1{,}4$;

$n_б$ – частота вращения вала привода, $n_б$ = 25…35 об/с;

$\eta_{пб}$ – КПД привода бруса.

Мощность (кВт) *привода вибрационной плиты*

$$N_{пл} = к_{уд} S_{пл} = к_{уд} l_{пл} b_{пл}\,, \qquad (4.32)$$

где $к_{уд}$ – размерный коэффициент пропорциональности, $к_{уд}$ = 1,2…1,6 кВт/м^2;

$S_{пл}$ – площадь контакта виброплиты с асфальтобетоном, м^2;

$l_{пл}$ – длина плиты, м;

$b_{пл}$ – ширина плиты, м.

Мощность привода вспомогательных механизмов (топливного насоса, мешалки, воздуходувки системы обогрева выглаживающей плиты)

$$N_{всп}=1{,}5…2{,}0 \text{ кВт}. \qquad (4.33)$$

Для тяжелых и сверхтяжелых АУ целесообразно принять

$$N_{всп} \approx 10\% N, \text{кВт}.$$

Зная мощности, расходуемые на передвижение АУ и работу всех его механизмов, выбирают дизельный двигатель так, чтобы

$$N_{дв} \geq N\,. \qquad (4.34)$$

4.3 Асфальтовые катки

Уплотнение является завершающей стадией процесса создания покрытий дорожной одежды. Степень уплотнения определяет эксплуатационные характеристики покрытий автомобильных дорог, в том числе ровность, водонепроницаемость, износостойкость и стойкость к атмосферным воздействиям. Как правило, для устройства покрытий применяют свежеприготовленные асфальтобетонные смеси, плотность которых значительно ниже, чем плотность бетонов на их основе. Задача уплотнения – снизить пористость и повысить плотность материалов до значений, которые регламентированы нормативно-технической документацией. Главным условием процесса уплотнения является постепенное – от прохода к проходу – увеличение удельного давления рабочего органа на слой смеси, что способствует его уплотнению и увеличению прочности.

Задачу уплотнения АБ смеси решают, как правило, комплексно:

– во-первых, на стадии укладки смеси используют агрегаты предварительного или высокого уплотнения асфальтоукладчиков, которые рассмотрены в предыдущем разделе;

– во-вторых, на стадии уплотнения применяют комплекты асфальтовых катков, начиная с легких и кончая средними и тяжелыми катками.

Для АБ смесей, различающихся вязкостью вяжущего, размерами частиц и фракционным составом заполнителей, составом и соотношением компонентов, имеется широкий выбор асфальтовых катков. В дополнение к материалу, изложенному в первой части данного учебного пособия [8], целесообразно рассмотреть только катки, предназначенные для уплотнения АБ смесей. Поскольку одним из основных требований к АБ покрытиям является их ровность, для уплотнения смесей используют только катки с гладкими металлическими и пневматическими вальцами. Вполне очевидно, что толщину слоя задает АУ, а катки подбирают в зависимости от типа дорожной одежды, технологии укладки, состава смеси и др. Для каждого статического или вибрационного катка, имеющего заданные геометрические, массовые и вибрационные параметры, существуют оптимальные толщины уплотняемых слоев асфальтобетонной смеси.

Асфальтовые катки различают по следующим основным признакам:

1) *по величине статической линейной* (Н/см) *нагрузки (давления)* – легкие (с давлением до 400), средние (400–600) и тяжелые (более 600);

2) *по типу несущей конструкции* – с моноблочной и шарнирно-сочлененной рамой;

3) *по способу воздействия на уплотняемую поверхность* – статические и вибрационные;

4) *по виду рабочего оборудования* – с гладкими металлическими вальцами, с пневматическими колесами с гладким протектором и комбинированные, т.е. сочетающие металлические вальцы и пневмоколеса;

5) *по типу колебаний вибровальца* – с круговыми ненаправленными и направленными, в том числе вертикальными и горизонтальными (осцилляторными) колебаниями;

6) *по комплектации металлических вальцов* – с базовыми вальцами и со съемными бандажами различной конфигурации на вальцах для уплотнения АБ покрытий, дорожных оснований и грунтов.

Статическое действие на смесь реализуют с помощью гладких металлических и пневмоколесных вальцов. Уплотняющая способность катка с металлическими вальцами зависит от его силы тяжести и диаметра вальцов, т.е. от величины удельного линейного давления. Уплотняющая способность катка с пневмоколесами зависит от его силы тяжести и давления в шинах.

Уплотнение гладкими металлическими вальцами происходит в результате медленного (по существу статического) повышения напряжения в слоях смеси, прилегающих к зоне контакта с вальцом. На эффективность уплотнения и толщину уплотненного слоя влияют величина линейного давления, вязкость вяжущего и концентрация заполнителей. При этом на границе полосы уплотнения жестким вальцом может наблюдаться резкий перепад напряжений в уплотненной и неуплотненной смесях, что в дальнейшем приводит к образованию трещин. Кроме того, перед таким вальцом при движении образуется волна деформируемой смеси с нарушенной структурой.

Уплотнение смеси упругими пневмоколесными катками обусловлено сочетанием статического действия силы тяжести катка и упругой деформации пневматических шин, которая вызывает сдвиговой эффект уплотнения за счет выдавливания воздуха из смеси в направлении перемещения катка. Кроме того, деформация шины обеспечивает еще один положительный эффект – устраняет упомянутое трещинообразование на границе полосы уплотнения за счет плавного перепада напряжений на этой границе и расширения зоны уплотнения смеси. Ряд современных моделей пневмоколесных катков оборудованы централизованной системой регулировки давления в шинах, что позволяет управлять площадью зоны уплотнения. Однако упругие деформации пневмоколесных катков затрудняют получение ровной поверхности покрытий, поэтому для их окончательной отделки используют только гладковальцовые катки.

Уплотняющее воздействие вибрационных катков обусловлено сочетанием статической и динамической нагрузок на АБ смесь. Вибрация вальца

существенно снижает внутреннее трение в смеси, что способствует ее лучшему уплотнению. В наибольшей степени это проявляется для жестких смесей с ограниченным содержанием вяжущего. Катки с вибрационными вальцами значительно эффективнее статических: по эффекту уплотнения вибрационные катки с массой 1,5–8,0 т эквивалентны каткам статического действия с массой 10–15 т. Важным достоинством современных виброкатков является возможность регулирования их уплотняющего воздействия за счет управления частотно-амплитудными характеристиками колебаний виброэлементов вальцов. Конструкции вальцов обеспечивают бесступенчатое (плавное) или ступенчатое (дискретное) изменение амплитуды колебаний в широком диапазоне, а также реализацию круговых (ненаправленных) и направленных, в том числе реверсивных колебаний, что позволяет подбирать оптимальные параметры вибровоздействия в зависимости от стадии уплотнения и толщины слоя, состава и температуры смеси.

Наибольшее применение в дорожном строительстве находят *двухосные катки*. *Двухвальцовые катки* (так называемые *тандемы*) имеют вальцы одинаковой ширины. Нередко их снабжают устройствами, обеспечивающими боковое смещение одного вальца относительно другого, что расширяет их технологические возможности. Они могут иметь один (задний) или оба ведущих вальца. Эти катки бывают легкого, среднего и тяжелого типов. Как правило, широкие вальцы средних и тяжелых катков делают разрезными, состоящими из двух одинаковых секций, во избежание повреждения поверхности покрытия за счет сдвига материала при поворотах. Секции ведущих разрезных вальцов соединяют между собой дифференциалом, а секции ведомых свободно устанавливают на оси с небольшим зазором между ними, который не влияет на качество укатки поверхности. Тандемные катки могут быть как статического, так и динамического действия.

В качестве примера тандемного катка можно привести статический двухосный каток ДУ-63-1, имеющий два ведущих вальца. На рисунке 4.8 представлена его конструктивная схема. Вальцы 1 и 10 приводит в движение дизельный двигатель 11 через реверсивный гидронасос, два гидромотора и два планетарных редуктора, которые размещены во внутренних полостях вальцов. Дизельный двигатель с гидронасосом устанавливают между вальцами под несущей рамой 12. Каток оснащают системой смачивания водой и скребками 2, 8 для очистки рабочей поверхности вальцов.

Двухосные трехвальцовые катки статического действия имеют два узких ведущих вальца на задней оси и один широкий управляемый ведомый

валец на передней оси. Они бывают среднего и тяжелого типов. Уплотнение смеси производится в основном задними катками, распределенная нагрузка от которых в два раза больше нагрузки от переднего вальца. Задняя ось снабжена дифференциалом, что позволяет катку на кривых малых радиусов проходить без повреждения уплотняемого слоя покрытия.

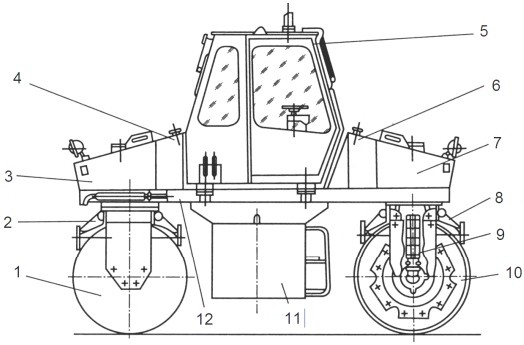


Рисунок 4.8 – Конструктивная схема статического двухосного катка ДУ-63-1:
1,10 – металлические вальцы; 2,8 – скребки;
3,7 – баки для воды; 4 – топливный бак;
5 – кабина; 6 – гидробак; 9 – гидрооборудование;
11 – силовая установка; 12 – несущая рама

В качестве тяжелых катков нередко используют *трехосные трехвальцовые катки* статического действия двух типов: а) с задним ведущим и двумя передними ведомыми управляемыми катками; б) со всеми ведущими вальцами. Конструкция их подвески позволяет перераспределять силу тяжести по осям в зависимости от профиля уплотняемой поверхности.

Пневмоколесные катки имеют моноблочную жесткую раму, которая опирается на ходовую систему в трех точках: одна – спереди, две – сзади. Такая компоновка обеспечивает устойчивость и равномерное распределение силы тяжести катка по уплотняемой поверхности. Ведущие пневмоколеса задней оси располагают на неразрезном мосту, а управляемые передние пневмоколеса качаются в поперечной плоскости вследствие крепления к раме в одной точке. За счет балласта, загружаемого в балластный отсек в средней части катка, его масса может быть увеличена в два раза. Количество передних и задних пневмоколес должно быть различным, чтобы они перекрывали зоны уплотнения друг друга.

Примером может служить пневмоколесный каток ДУ-100 (рисунок 4.9), который оснащен двумя приводными поворотными пневмошинными вальцами 1 и 12. Каток имеет несущую раму 10, силовую установку 14, трансмиссию и систему управления. Рама как несущая конструкция имеет две шкворневые опоры 3 и 8, которые служат для установки и поворота вальцов. Силовая установка образует модуль, состоящий из дизельного двигателя, раздаточного редуктора с корпусом муфты сцепления и двух гидравлических насосов. Гидравлическая система катка состоит из гидрокон-

туров привода хода и рулевого управления. Каждое колесо снабжают скребком (11,13,15 и 16), очищающим его поверхность.

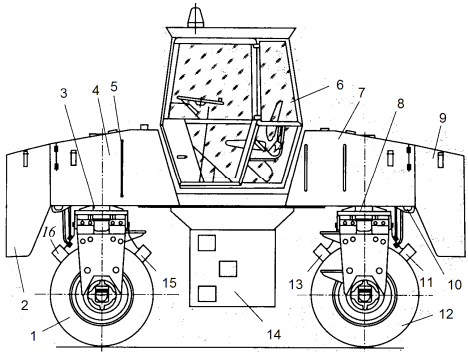
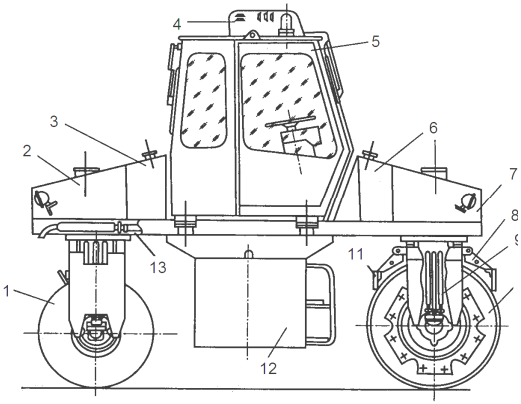


Рисунок 4.9 – Конструктивная схема пневмоколесного двухосного катка ДУ-100:
1, 12 – пневмошинные вальцы;
2, 9 – емкости для балласта;
3, 8 – шкворневые опоры;
4,7 – баки для смачивающей жидкости; 5 – трубка уровня смачивающей жидкости; 6 – кабина; 10 – рама;
11, 13, 15, 16 – скребки;
14 – силовая установка

Комбинированные катки совмещают достоинства жестких вальцов и упругих пневмоколес: на одной оси устанавливают сплошной или разрезной металлический валец, на другой – пневматические колеса с гладким протектором. Ходовая гидрообъемная трансмиссия комбинированных катков состоит из одного (при одном ведущем вальце) или двух контуров. Привод хода ведущего вальца включает насос регулируемой подачи, гидромотор и редуктор. При выходе из строя одного из гидроконтуров другой обеспечивает нормальную работу катка.

Например, комбинированный каток ДУ-64 в качестве рабочих органов имеет ведущий гладкий металлический вибровалец и две пары пневмоколес, смонтированных сдвоенно на ободе. На рисунке 4.10 представлена его конструктивная схема. На основной моноблочной раме 13 установлены силовая установка 12, насосная станция, гидрооборудование, кабина 5 с системой управления и др. В состав насосной станции входят муфта сцепления, раздаточный редуктор, два насоса для передачи вращения гидромоторам привода хода катка и вибровозбудителя, а также насос для привода рулевого управления, содержащего гидроруль, т.е. гидрораспределитель и два силовых гидроцилиндра двухстороннего действия. Вибровозбудитель создает круговые (ненаправленные) колебания и представляет собой вибровал с дебалансом, который установлен на подшипниках в ступицах вальца 10. На вибровалу укреплен шкив двухступенчатой клиноременной передачи, с помощью которой его приводят во вращение от ведущего шкива муфты реверса. С другой стороны вальца к его диску крепится бортовая шестерня для передачи крутящего момента от редуктора на валец.

Рисунок 4.10 – Конструктивная схема комбинированного катка ДУ-64:
1 – пневмоколесный валец;
2, 7 – баки для смачивающей жидкости; 3 – топливный бак;
4 – кондиционер; 5 – кабина;
6 – бак для рабочей жидкости;
8, 11 – скребки;
9 – гидрооборудование;
10 – гладкий металлический вибрационный валец;
12 – силовая установка;
13 – основная рама



Жестковальцовые и комбинированные катки имеют *моноблочную* или *шарнирно-сочлененную* рамы. *Моноблочная рама* дает повышенную жесткость катку, что позволяет при необходимости перераспределять его силу тяжести между вальцами. Рама с двумя управляемыми вальцами обеспечивает возможность изменения направления движения поворотом переднего или заднего вальца, а также одновременным поворотом обоих вальцов. *Шарнирно-сочлененная рама* состоит из передней и задней полурам, которые могут поворачиваться относительно друг друга в горизонтальной плоскости на угол до 30–35^0 и в вертикальной – на угол $\pm(8\ldots12)^0$. Каждая из полурам опирается на жесткий валец или комплект пневматических колес. Ось жесткого вальца закреплена неподвижно относительно полурамы, а ось пневмоколес может быть как неподвижной, так и подвижной, что значительно повышает маневренность катка. Шарнирное сочленение увеличивает набор способов поворота по сравнению с моноблочной рамой. Каждую из полурам снабжают балластным водяным баком, который выполняет также функции резервуара системы орошения вальцов.

Как уже было отмечено, *вибрационные катки* обеспечивают более высокую степень уплотнения, поскольку *сочетают действие статической силы (т.е. собственной силы тяжести) и вынуждающей силы*, связанной с колебаниями вибратора. Для этих целей применяют только жесткие металлические вальцы, поскольку пневмоколеса являются виброизоляторами, демпфирующими колебания. В качестве вибраторов используют, как правило, дебалансные элементы (валы и др.) с регулируемыми частотно-амплитудными характеристиками. Вибрационные катки оснащены системой амортизаторов, защищающих оператора, силовую установку и гидропривод от вибраций.

Примером использования вибрационного воздействия может служить дорожный каток ДУ-98 (рисунок 4.11).

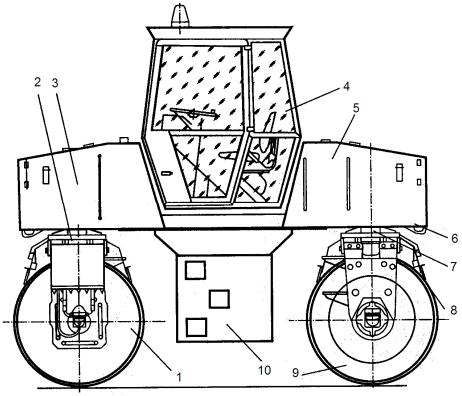


Рисунок 4.11 – Конструктивная схема вибрационного двухосного катка ДУ-98:
1, 9 – вибрационные вальцы;
2, 7 – шкворневые опоры;
3, 5 – водяные баки; 4 – кабина;
6 – противовес; 8 – скребки;
10 – силовая установка

Он оснащен двумя гладкими металлическими вибрационными вальцами 1 и 9, которые являются поворотными и приводными (с встроенными в их внутренние полости вибровозбудителями). Каток имеет жесткую моноблочную раму, на которой установлены силовая установка 10, трансмиссия, кабина 4 с системой управления. Силовая установка образует блок-модуль из дизельного двигателя, раздаточного редуктора с корпусом муфты сцепления и регулируемых реверсивных гидронасосов, передающих вращение гидромоторам ходового устройства и вибровозбудителей. Гидравлический привод трансмиссии позволяет производить бесступенчатое изменение скорости перемещения катка. Гидроприводвибраторов обеспечивает изменение направления вращения вибровала и величины вынуждающей силы. Кроме того, каток снабжен устройством, позволяющим смещать задний валец на необходимый угол (за счет действия специального электрогидравлического распределителя), что расширяет технологические возможности катка путем достижения его большей маневренности, обеспечения эффективной работы у бордюра.

В конструкциях вибрационных вальцов используют *ненаправленные* и *направленные* колебания. На рисунке 4.12 представлены схемы различных устройств, обеспечивающих эти колебания. Самым простым способом уплотнения является использование *ненаправленных круговых колебаний*.

Их можно реализовать с помощью одиночного вала с дебалансами, который устанавливают соосно оси вибровальца (рисунок 4.12, *а*). Круговые колебания передаются от дебалансного вала через валец на уплотняемый материал. Валец с одним дебалансным валом имеет, как правило, одну или две фиксированные частоты вращения вала вибровозбудителя, а также одно

или два значения вынуждающей силы. В последнем случае можно использовать, например, конструкцию раздвижного дебаланса. На рисунке 4.13 показан принцип действия раздвижного дебаланса.

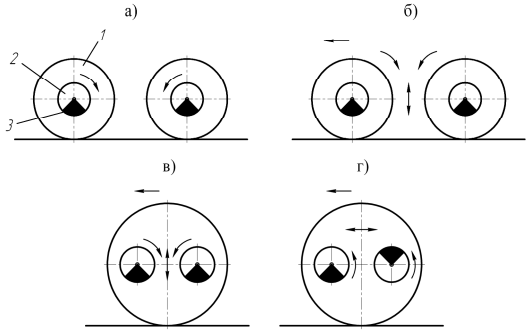
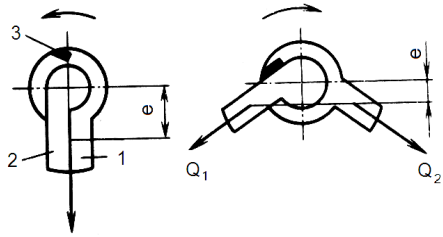


Рисунок 4.12 – Схемы реализации колебаний в виброкатках (1 – вибровалец; 2 – дебалансный вал; 3 – дебаланс):
а – круговых ненаправленных – в двухвальцовом виброкатке;
б – направленных вертикальных – в сдвоенном виброкатке; *в* – направленных вертикальных – в вальце с двумя дебалансными валами;
г – направленных горизонтальных – в вальце с двумя дебалансными валами

Рисунок 4.13 – Принципиальная схема раздвижных дебалансов вибровозбудителя:
1 – свободный дебаланс;
2 – закрепленный дебаланс;
3 – ограничитель



Дебаланс состоит из двух частей, одна из которых (2) жестко закреплена на вибровале, а вторая (1) может свободно поворачиваться относительно оси вала. При вращении вала против часовой стрелки оба дебаланса вращаются как единое целое, а по часовой стрелке – раздвигаются. В результате вынуждающая сила, развиваемая вибровозбудителем, имеет два значения, которые можно определить с помощью следующих формул:

– для вращения против часовой стрелки

$$P_1 = me\omega^2, \tag{4.35}$$

где m – суммарная масса дебалансов, кг;

e – радиус вращения центра тяжести массы дебалансов, м;

ω – угловая скорость вращения вала, об/с;

– для вращения по часовой стрелке

$$P_2 = \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2 + 2Q_1Q_2 \cos\frac{\alpha}{2}}\ , \qquad (4.36)$$

где Q_1 и Q_2 – вынуждающая сила каждого дебаланса, Н;

α – угол между осями дебалансов, град.

Двухрежимную вибрацию используют в большинстве имеющихся сейчас моделей виброкатков. Вместе с тем, она стала явно недостаточной для уплотнения материалов различного типа и состояния с учетом необходимости регулирования толщины уплотняемых слоев. Поэтому разработчики (фирмы «Bomag», «Ingersoll-Rand», «Ammann», «Hamm», «Dynapac», «Caterpillar» и др.) устанавливают на виброкатках многорежимные уплотняющие системы. Эти системы выпускают двух типов: во-первых, устройства с *дискретным регулированием* уплотняющего воздействия вибровозбудителя *круговых* ненаправленных колебаний; во-вторых, устройства с *плавным регулированием* уплотняющего воздействия вибровозбудителя *направленных* колебаний.

Первый тип устройств имеет одну, две или три частоты колебаний вальца с несколькими амплитудами силового воздействия. Например, фирма «Ingersoll-Rand» выпускает виброкатки, обеспечивающие восемь амплитуд и две частоты колебаний вальца; фирма «Caterpillar» выпускает виброкатки с тремя–пятью амплитудами при одной–трех частотах вальца.

Второй тип устройств снабжают механизмами, обеспечивающими направленные колебания. *Направленные колебания* реализуют в двух вариантах:

1) с помощью двух вибровальцов (рисунок 4.12, *б*), каждый из которых имеет вибровозбудитель с круговыми колебаниями (как правило, вал с дебалансом);

2) с помощью пары вибровалов с дебалансными элементами, которыми оснащен валец (рисунок 4.12, *в, г*).

Вариант двух вибровальцов реализован в конструкции виброкатков (например, ДУ-95-1, ДУ-95-2 и др.), имеющих сдвоенные вальцы. В оба вальца вмонтированы вибровозбудители с круговыми колебаниями, каждый из которых представляет собой вал с дебалансом. При этом их дебалансные элементы смещены относительно друг друга на угол 180^0 (в горизонтальном положении). Вибровалы с дебалансами вращаются в разные стороны с одинаковой частотой, поэтому горизонтальные усилия вибровозбудителей уравновешиваются, а на уплотняемый материал передаются в основном вертикальные нагрузки.

Вариант двух вибровалов в одном вальце имеет более широкие технические возможности и позволяет реализовать различные виды колебаний в зависимости от расположения дебалансов и направления вращения. Во-первых, *направленные вертикальные колебания* – за счет одинаковой частоты вращения валов в разные стороны (см. рисунок 4.12, *в*) при смещении

дебалансов относительно друг друга на угол 180^0 (в горизонтальном положении). Во-вторых, *направленные горизонтальные колебания* – за счет одинаковой частоты вращения валов в одну сторону (см. рисунок 4.12, *г*) при смещении дебалансов относительно друг друга на угол 180^0.

На рисунке 4.14 представлена схема реализации вертикальных (*а*) и горизонтальных (*б*) колебаний вибровальца при помощи двух дебалансных валов, которые вращаются с одинаковой частотой. Условно период их вращения разбит на четыре стадии.

Вертикальные направленные колебания (рисунок 4.14, *а*) возникают только на I и III стадиях, когда динамические импульсы от центробежных сил *P*, развиваемых дебалансами, направлены вертикально (вверх–вниз), воздействуя через валец на уплотняемый материал в вертикальной плоскости. Они оказывают на материал виброударное воздействие. На II и IV стадиях центробежные силы уравновешиваются и их действие на валец нейтрализуется.

Горизонтальные колебания (рисунок 4.14, *б*) также возникают только на I и III стадиях. При расположении центробежных сил *P* в вертикальной плоскости они вызывают динамические моменты, которые сообщают вальцу возвратно-поступательное движение в горизонтальной плоскости (осцилляции) в зоне контакта с уплотняемым материалом. На II и IV стадиях центробежные силы компенсируют друг друга, не оказывая существенного силового воздействия на валец.

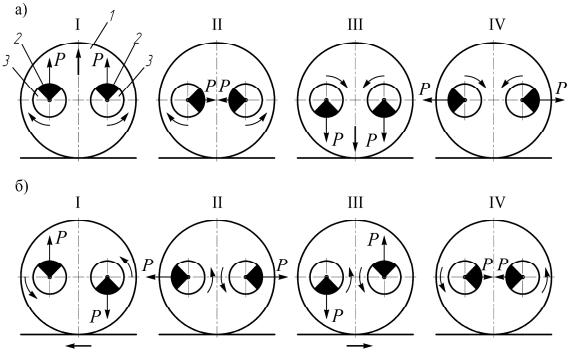


Рисунок 4.14 – Принципиальная схема реализации направленных колебаний (*а* – вертикальных, *б* – горизонтальных) в вибровальце с помощью двух дебалансных валов: 1 – вибровалец; 2 – дебаланс; 3 – дебалансный вал

Направленные горизонтальные колебания называют *осцилляторными*, поскольку валец совершает крутильные колебания вокруг собственной оси, т.е. небольшие реверсивные *осцилляции* (угловые отклонения).

Напомним, что любой вибрационный каток оказывает два вида воздействия на уплотняемый материал: *статическое* и *динамическое*. При тради-

ционном уплотнении виброколебания (как и статическая нагрузка) действуют в вертикальном направлении, а при осцилляторном – статическая вертикальная нагрузка сочетается с реверсивными виброколебаниями в горизонтальной плоскости.

Осцилляторное воздействие на уплотняемый материал происходит по принципу "реверсивный сдвиг – статическое сжатие". В результате уплотнение имеет следующие особенности:

а) уменьшается разрушение частиц минерального заполнителя;

б) снижаются силы внутреннего трения частиц уплотняемого материала;

в) снижается динамические нагрузки на каток и увеличивается срок его службы.

Профессор Вл. И. Баловнев [3] показал взаимосвязь основных параметров осцилляторного воздействия с характеристиками уплотняемого материала и виброкатка. Было установлено, что оптимальное время (с) осцилляторного воздействия можно определить по формуле

$$t_{\text{осц}} = \text{к}_m f_{\text{в}} mga / N_{\text{к}} , \qquad (4.37)$$

где к_m – коэффициент распределения массы на осцилляторный валец;

$f_{\text{в}}$ – коэффициент сопротивления движению вальца при вибрации;

m – масса машины, кг;

a – горизонтальная амплитуда колебаний осцилляторного вальца, м;

$N_{\text{к}}$ – мощность силовой установки катка, Вт.

С учетом установленных взаимосвязей было показано, что оптимальная масса (кг) виброкатка с осцилляторным вальцом пропорциональна следующим основным характеристикам катка:

$$m \approx \sqrt{B_{\text{в}} R_{\text{в}} h_{\text{сл}} N_{\text{к}} / a} , \qquad (4.38)$$

где $B_{\text{в}}$ – ширина вальца, м;

$R_{\text{в}}$ – радиус вальца, м

$h_{\text{сл}}$ – толщина уплотняемого слоя, м.

Осцилляторные колебания реализованы в конструкциях вибрационных катков ведущих производителей уплотнительной техники, например, фирм «Hamm», «Bomag» и др.

Как правило, такие виброкатки содержат задний осциллирующий валец и передний – статический или вибрационный. Об эффективности этого сочетания свидетельствуют данные таблицы 4.3, в которой представлены результаты уплотнения АБ смеси катками фирмы «Hamm». Из таблицы следует, что наиболее высокие результаты (более 90 % уплотнения смеси) достигаются при совместном действии вибрации (т.е. вертикальных колебаний) и осцилляции (т.е. горизонтальных колебаний).

Таблица 4.3 – **Влияние режимов силового воздействия вальцов катка на степень уплотнения смеси**

Количество проходов катка	Степень уплотнения асфальтобетона (%) при использовании вальцов различного типа		
	передний – статика, задний – осцилляция	передний – вибрация, задний – статика	передний – вибрация, задний – осцилляция
Предварительное уплотнение АУ	85,3	86,0	84,6
2	92,4	92,9	94,1
4	93,8	93,6	96,6
6	94,8	93,5	98,6
8	93,9	–	99,2

Этот же принцип лежит в основе конструкции дорожного катка тандемного типа ДС-31М, который производят на предприятии ОАО «Белдормаш». Он оснащен двумя ведущими и управляемыми гладкими металлическими вальцами (передним вибрационным и задним осцилляторным). Номинальная частота вибрации и осцилляции составляет 36 Гц при амплитуде вибраций до 0,7 мм. Эксплуатационная масса катка составляет 10,5 т при линейном давлении 30 Н/мм, диаметре вальцов 1200 мм и ширине 2445 мм.

Для лучшей передачи уплотняемому материалу горизонтальных усилий поверхность вальца должна иметь высокий коэффициент сцепления с опорной поверхностью, чтобы не было проскальзывания вальца. Этому требованию удовлетворяют вальцы с обрезиненной поверхностью, поскольку ее коэффициент сцепления в 1,7–1,8 раза выше, чем стали.

Современные уплотняющие системы обладают возможностью управления силовым воздействием в диапазоне от вертикальных до горизонтальных колебаний вибровозбудителя, что позволяет подбирать оптимальный режим уплотнения для материалов различного типа и структуры. Регулирование амплитуды колебаний осуществляют за счет изменения относительного положения дебалансов между собой.

Производители дорожных машин выпускают, как правило, типоразмерные ряды асфальтовых катков, которые различаются как по главному параметру (ширине укатываемой полосы), так и по другим классификационным признакам. При этом широко используют блочно-модульный принцип проектирования с применением унифицированных сборочных единиц и агрегатов. Он позволяет с минимальными затратами создать обширную гамму уплотняющей техники для различных материалов и условий эксплуатации. В частности, представленные на рисунках 4.8–4.11 катки (производства рыбинского ЗАО «Раскат») созданы с широким набором модулей, к которым относятся кабина с рабочим местом оператора, планетарный редуктор и гидростатическая передача, силовые установки и силовые рамы, рабочее оборудование (вальцы, рамы, вилки, шарниры и др.). Ходовая система кинематически выполнена как передача с гидромотор-колесами. Гидросхема

обеспечивает высокую степень унификации применяемого гидрооборудования и позволяет формировать нужную модификацию катка с наименьшими материальными затратами.

В таблице 4.4 приведены некоторые технические характеристики наиболее распространенных и изготовленных в СНГ дорожных катков. В их числе двухосные статические катки с гладкими металлическими вальцами (ДУ-72, ДУ-73, ДУ-63-1, ДУ-93 и др.), вибрационные двухосные катки с гладкими металлическими вальцами, оснащенными одним (ДУ-47Б) или двумя вибровальцами (ДУ-63, ДУ-98), пневмоколесные статические двухосные катки (ДУ-65, ДУ-100), комбинированные катки, оснащенные приводными металлическими вибровальцами и статическими пневмоколесами (ДУ-54М, ДУ-64, ДУ-97, ДУ-99). Как видно из таблицы, для уплотнения АБ смеси в основном используют катки, имеющие цельнорамные конструкции.

В качестве примера типоразмерного ряда можно привести асфальтовые катки фирмы «Dynapac». Ее тандемные и комбинированные вибрационные катки охватывают широкий диапазон эксплуатационно-технических характеристик – от малогабаритных катков (с шириной 0,8 м), которые используют для выполнения небольших объемов работ (пешеходных тротуаров и подъездных путей), до тяжелых катков (с шириной укатки более 2 м), которые предназначены для уплотнения с высокой производительностью АБ смесей на магистральных дорогах, улицах и в промышленных зонах. Свое вибрационное воздействие на смесь они осуществляют при фиксированных частотах (одной или двух) с амплитудой колебаний в пределах 0,2–0,8 мм.

Таблица 4.4 – **Технические характеристики асфальтовых катков**

Марка	Тип движителя	Масса, т	Мощность, кВт	Ширина укатки, м	Статическая линейная нагрузка, кг/см	Рабочая скорость, км/ч
ДУ-54М	Комби	2,2	5,9	0,87	18,0	3,0
ДУ-72	Вальцы	5,5	18,4	1,08	22,0	5,5
ДУ-47Б	Вальцы	6,0	36,7	1,4	25,0	6,8
ДУ-73	Вальцы	6,5	44,0	1,4	25,0	8,0
ДУ-96	Вальцы	7,0	48,0	1,5	24,5	12,0
ДУ-97	Комби	7,0	48,0	1,5	24,7	12,0
ДУ-93	Вальцы	10,0	44,0	1,4	34,3	6,8
ДУ63-1	Вальцы	8,5	44,0	1,7	25,0	7,0
ДУ-64	Комби	9,5	57,4	1,7	33,0	10,0
ДУ-99	Комби	9,5	73,6	1,7	30,8	12,0
ДУ-63	Вальцы	10,5	57,4	1,7	33,0	10,0
ДУ-98	Вальцы	10,5	73,6	1,7	30,8	13,0
ДУ-65	Пневмо	12,0	57,4	1,7	1500*	8,0
ДУ-100	Пневмо	14,0	73,6	1,95	1750*	16,0
* Нагрузка на одно колесо, кг.						

Эта же фирма выпускает ряд моделей виброкатков с покрытыми вулканизированной резиной металлическими вальцами. Их используют в основном при поверхностной обработке уложенных покрытий нанесением шероховатых слоев, которые увеличивают сопротивление заносу автомобиля и обеспечивают поверхностный дренаж. Применение прорезиненных катков уменьшает риск дробления каменного материала в поверхностном слое и значительно снижает уровень шума при работе катка. Однако резина имеет относительно низкие прочностные характеристики, что заставляет при движении избегать сосредоточенных нагрузок от крупных камней и бордюрного камня. В качестве примера можно привести самоходный виброкаток CA 15R, снабженный покрытым резиной вальцом (диаметром 1,585 м и шириной 2,13 м), который обеспечивает статическую линейную нагрузку более 25 Н/мм и амплитуду колебаний в пределах 0,7–1,4 мм при частоте 28 Гц. Ряд моделей асфальтовых катков снабжают теплоизолирующими фартуками, замедляющими остывание АБ смеси в зоне уплотнения.

К основным направлениям энергосберегающего развития уплотнительной техники следует отнести следующие:

1) расширение типоразмерного ряда асфальтовых катков с оптимальными параметрами для обеспечения высокой производительности;

2) снижение энергозатрат за счет использования эффективных физических методов воздействия катков на асфальтобетонную смесь;

3) оснащение катков вспомогательным оборудованием (съемными бандажами вальцов с гладкой поверхностью и с фигурными уплотнительными элементами, устройствами для уплотнения и отрезки кромки покрытий и др.) для расширения их технологических возможностей;

4) оснащение катков системами глобального позиционирования (*GPS* и др.) для повышения качества уплотнения и увеличения производительности дорожных работ;

5) установка на вибрационных катках систем электронного управления, обеспечивающих автоматическое регулирование частотно-амплитудных характеристик в зависимости от состава и структуры асфальтобетонных смесей.

Для катков с гладкими металлическими вальцами экономия материалов и энергии достигается за счет использования *сменного рабочего оборудования в виде бандажей*, которые монтируют на стандартном вальце. Вместо нескольких катков можно использовать только один, оснащенный несколькими бандажами в виде съемных кожухов для работ с различными дорожно-строительными материалами, например, гладких кожухов или кожухов с кулачками и другими уплотняющими элементами. В частности фирма «Ingersoll-Rand» выпускает вибрационные катки (типа SD120 и DD70), оснащенные двумя бандажами для различных дорожных работ. Один из них имеет гладкую поверхность и предназначен для уплотнения АБ смесей, другой – бандаж ку-

лачкового типа – используют для укатки грунтов и оснований. Гладкий бандаж снижает сопротивление укатыванию из-за увеличения диаметра и ширины, что обеспечивает более гладкую поверхность слоя АБ смеси.

Применение GPS в виброкатках позволяет повысить производительность уплотнения дорожных покрытий за счет увеличения толщины уплотняемого слоя без ухудшения его качества. Их оснащают системами контроля качества уплотнения, которые дают оператору информацию о технологическом процессе и позволяют эффективно управлять его параметрами. Например, фирма «Sakai America» устанавливает на вибрационных катках систему контроля CIS (*Compaction Information System*), которая отражает на дисплее карту перемещения машины с учетом данных GPS, распределение температуры смеси и степень уплотнения при заданных частотно-амплитудных характеристиках. Эта информация позволяет оператору легко контролировать процесс и достичь требуемого качества уплотнения в зависимости от технологических характеристик смеси.

Наиболее перспективным в плане обеспечения баланса качества и производительности представляется направление, связанное с так называемым «интеллектуальным уплотнением» IC (от англ. *intellectual compaction*). Системы IC, которыми оснащают катки многие ведущие фирмы, представляют собой электронные органы управления и контроля, непрерывно регистрирующие плотность уплотняемого материала. На основании этих данных происходит автоматическая коррекция частоты и амплитуты вибровоздействия, а также скорости перемещения катка для обеспечения заданной плотности покрытий. Возможность корректировать процесс уплотнения в режиме реального времени с учетом толщины, состава и структуры уплотняемых материалов сулит весьма большие потенциальные преимущества. В их числе снижение энергоемкости процесса уплотнения, увеличение производительности за счет снижения числа проходов катка, повышение качества уплотнения за счет достижения оптимальной плотности покрытий.

Помимо упомянутых (можно сказать, классических) путей развития катков, исследователи и разработчики новой техники пытаются повысить эффективность уплотнения дорожно-строительных материалов с помощью нетрадиционных приемов. Для их иллюстрации приведем примеры некоторых интересных технических идей. Вполне возможно, что в недалеком будущем они будут востребованы в уплотнительной технике.

Как правило, в серийно выпускаемых катках используют самый простой способ вибровоздействия – с помощью ненаправленных круговых колебаний, которые возникают при вращении дебалансных валов вибровальцов. Кроме того, используют более эффективные, но и конструктивно более сложные способы направленных (вертикальных и горизонтальных) колебаний вибровальцов.

Другие способы вибровоздействия на дорожно-строительный материал

пока не выходят за рамки исследований и опытных испытаний. В их числе методы так называемого *виброволнового воздействия* вальца на смесь [23]. На рисунке 4.15 представлена принципиальная схема виброволнового вальца. Он содержит упругую цилиндрическую обечайку 1 с генератором виброволн внутри вальца. Генератор волн содержит три пары опорных роликов (2 и 3), установленных на специальной раме, одна пара которых (2) является эксцентриковыми. Через ролики на обечайку передается статическая сила тяжести катка. Кроме того, вращающиеся эксцентриковые ролики вызывают *вибродеформацию* обечайки, которая, в свою очередь, своей нижней частью уплотняет смесь. Достоинством этого метода является низкая энергоемкость процесса уплотнения, поскольку во вращение приводят только ролики, расположенные в нижней части вальца, что существенно снижает энергопотребление возбудителя колебаний по сравнению с традиционным вибровальцем. Опытные испытания показали преимущества виброволнового вальца по сравнению с классическим виброкатком, что связано с большими амплитудами его колебаний.

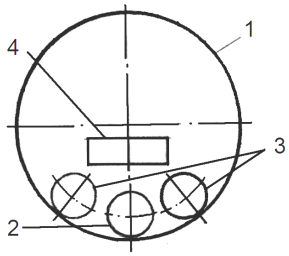


Рисунок 4.15 – Схема виброволнового вальца:
1 – стальная обечайка; 2 – ролик опорный эксцентриковый;
3 – ролик опорный; 4 – рама

Пневмокатки используют только в статическом режиме, поскольку они гасят колебания вибровозбудителя из-за наличия в шинах сжатого воздуха. Между тем, они обладают весьма существенным достоинством – возможностью изменения контактного давления на уплотняемый материал за счет изменения давления в шинах. Предложена [23] конструкция *вибрационного* гидрошинного (так его назвали авторы) катка, у которого шины заполнены жидкостью. Наличие в шине жидкости (т.е. несжимаемой среды) дает возможность эффективно использовать вибрации пневмоколеса, т.е. реализовать сочетание статического и динамического воздействия на смесь. Изменяя количество жидкости в пневмоколесе (т.е. давление в шине) и подбирая режим вибрации, можно управлять не только контактным давлением на смесь, но и частотной характеристикой колебаний пневмоколеса для ее подстройки под изменяющуюся собственную частоту уплотняемого материала для достижения резонанса. Регулируя режимы статического и динамического воздействия, с помощью одного катка можно реализовать весь цикл уплотнения материала от начала и до конца.

Эта же цель – использование только одного катка для уплотнения смеси – является основой применения *вакуумных технологий* [23]. Исследования показывают, что их применение позволяет повысить производительность за счет сокращения числа проходов катка по одному следу в 1,5–2,0 раза. При

этом существенно улучшаются водостойкость, сдвигоустойчивость, морозостойкость и прочностные характеристики слоя АБ смеси, что увеличивает срок службы покрытий в 1,5–2,0 раза. Данные экспериментов, представленные на рисунке 4.16, показывают, что вакуумирование (при степени разрежения в вакуумной камере в пределах 5–10 кПа) АБ смеси дает значительный положительный эффект при уплотнении как в статическом, так и в динамическом режимах. Из рисунка видно, что совместное действие вибрации и вакуумирования (за 8 проходов катка) на 65 % более эффективно, чем просто вибрация (по водонасыщению).

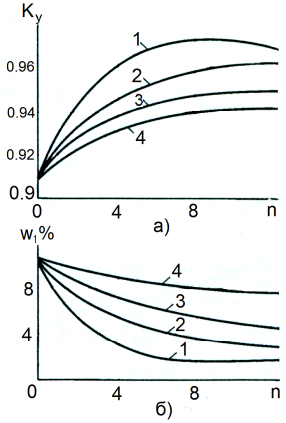


Рисунок 4.16 – Изменение коэффициента уплотнения $K_у$ (*а*) и водонасыщния W (*б*) при уплотнении смеси от числа проходов катка, работающего в режиме:
1 – вибрационном с вакуумированием; 2 – статическом с вакуумированием; 3 – вибрационном; 4 – статическом

В качестве примера конструкции вакуумного приспособления можно привести техническое решение [23], которое содержит набор необходимых элементов для контактного вакуумирования уплотняемого слоя. В начале цикла уплотнения каток работает в обычном режиме, затем после заданного числа проходов включают устройство создания вакуума. Регулируя величину разрежения воздушной среды в вакуумной камере, увеличивают контактное давление вальцов на покрытие. Пригрузка вальцов прямо пропорциональна разрежению в вакуумной камере и площади ее поверхности. На рисунке 4.17 приведена принципиальная схема вакуумного приспособления для катка с гладкими металлическими вальцами с целью повышения эффективности уплотнения АБ смеси. Однако пока контактные вакуумные методы не получили распространения из-за низких эксплуатационных характеристик вакуумных устройств.

Совершенствование вакуумных технологий осуществляют в направлении создания устройств для *бесконтактного вакуумирования* АБ смеси. На рисунке 4.18 приведена схема бесконтактного вакуумного устройства [23], которое представляет собой двухсекционную камеру. Нижняя камера 1 открыта со стороны уплотняемого слоя. В ней создается разрежение за счет вращения перфорированного диска 2, который перемещает воздух из центральной части камеры к ее периферии и удаляет его через отверстия 10 в боковых стенках. Эксперименты показывают, что в результате разрежения в пределах 10–15 кПа повышается эффективность уплотнения АБ смеси в зоне воздействия устройства. Вместе с тем, следует еще раз отметить, что вакуумные технологии пока не вышли за рамки исследовательских работ.

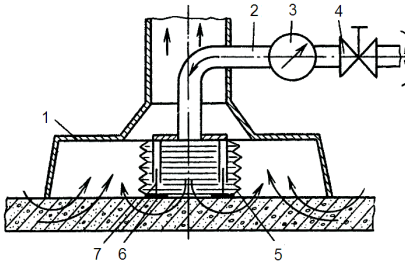


Рисунок 4.17 – Схема приспособления для вакуумной обработки АБ покрытий:
1 – вакуумная камера; 2 – патрубок; 3 – регистрирующий прибор; 4 – дроссель; 5 – гофрированная труба; 6 – опорный фланец; 7 – направляющая

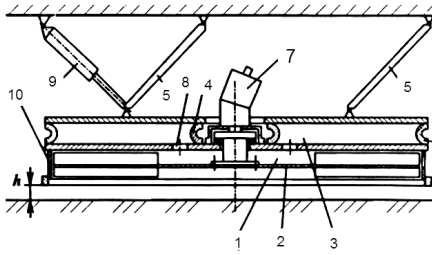


Рисунок 4.18 – Схема бесконтактного вакуумного устройства:
1 – нижняя камера; 2 – перфорированный лопаточный диск; 3 – верхняя камера; 4 – боковая стенка; 5 – тяги; 6 – рама катка; 7 – гидромотор; 8 – отверстие; 9 – гидроцилиндр; 10 – отверстие в боковой стенке

Перспективными и обнадеживающими представляются результаты исследования *влияния электрических полей на активацию уплотнения* дорожно-строительных материалов, содержащих остаточную влагу. Установлено [23], что под воздействием постоянного электрического поля в уплотняемом материале происходит электроосмотическое движение жидкости в его капиллярах. При этом она переходит из связанного в свободное состояние, что сопровождается облегчением деформирования материала и ускорением его уплотнения из-за снижения сил внутреннего трения его частиц.

Как известно, АУ производит укладку и частичное уплотнение смеси, а каток довершает уплотнение. Имеются концептуальные предложения по совмещению процессов укладки и уплотнения, их объединению в единый технологический процесс. Одно из них состоит в изменении направления укатки и создании так называемой *нагнетающей укладки* [23]. На рисунке 4.19 представлена принципиальная схема катка, с помощью которого реализуют эту укладку. Как видно из рисунка, каток оснащен узлом приема и подачи материала (в виде приемного бункера 2 и ленточного питателя 4) и механизмом укатки материала (в виде бункера-течки 7 и нескольких вальцов 6). Вальцы 6, установленные вдоль полосы в ряд, вместе с бункером совершают возвратно-поступательное движение поперек уплотняемой полосы. Материал через бункер-течку поступает на дорожное полотно перед вальцами, которые выдавливают его излишки по ходу движения катка.

После этого перемещают каток вслед за образовавшейся волной материала. За катком образуется полоса материала с высокой, как полагают авторы, степенью уплотнения. Ширина укладываемой полосы определяется шириной бункера-течки и ходом перемещения вальцов. Совмещение процессов укладки, разравнивания и уплотнения может значительно сократить производственные затраты за счет уменьшения количества используемой техники.

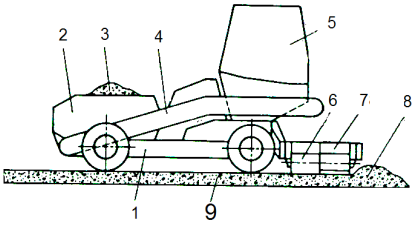


Рисунок 4.19 – Принципиальная схема самоходного катка для нагнетающей укладки:
1 – пневмоколесное шасси; 2 – приемный бункер; 3 – дорожно-строительный материал; 4 – ленточный транспортер-питатель; 5 – кабина; 6 – валец; 7 – бункер-течка; 8 – волна выдавливаемого материала; 9 – укладываемая полоса материала

Традиционная уплотнительная техника базируется на применении виброкатков с колесными вальцами. Весьма интересным направлением ее развития является создание гусеничных виброкатков, которые производит компания «Komatsu» для уплотнения дорожных оснований и покрытий. Каток имеет шарнирно-сочлененную раму, в передней части которой установлен гусеничный вибровалец, а на задней оси – пневмоколесное (модель JT150WA-1) или гусеничное (модель JT150WAC-1) шасси. При массе более 16 т вынуждающая сила на вибровальце составляет 180 кН при амплитуде колебаний 2,8 мм, что позволяет эффективно уплотнять глубинные слои дорожного полотна. К достоинствам таких катков относят, во-первых, высокую устойчивость на уклонах (угол уклона 15 и 22 % соответственно без использования вспомогательных агрегатов); во-вторых, возможность сглаживания неровностей предыдущих этапов уплотнения; в-третьих, большую площадь контакта рабочего органа с уплотняемой поверхностью. Можно предположить, что в недалеком будущем гусеничные виброкатки могут стать основой новых методов уплотнения.

Расчеты основных параметров асфальтовых катков. При конструировании катков основными расчетами являются тяговый расчет, который приведен в первой части данного пособия [17], и баланс мощности. Как правило, в основе различных методик лежат эмпирические соотношения, которые используют как для катков статического действия, так и для катков вибрационного действия, но с учетом их конструктивных особенностей

При проектировании катков статического действия с гладкими металлическими вальцами к основным параметрам относят силу тяжести катка, а также диаметр и ширину вальцов.

Для двухосных двухвальцовых катков независимо от количества ведущих вальцов силу тяжести катка распределяют по 50 % на ось; для двухосных трехвальцовых на ведущие вальцы приходится не менее 67 % силы тяжести катка.

Для обеспечения устойчивости катков и эффективной укатки смеси их основные размеры должны быть взаимосвязаны. Для тандемных катков имеются следующие рекомендации:

а) если оба вальца являются ведущими, то они имеют одинаковые размеры;

б) если один валец является ведущим, то его диаметр должен быть больше, чем у ведомого вальца.

Для трехосных трехвальцовых катков эти рекомендации также применимы. Диаметр ведущих вальцов двухосных трехвальцовых катков принимают в 1,4–1,6 раз больше диаметра ведомого вальца. Так, для двухосных двухвальцовых и трехосных трехвальцовых катков желательно, чтобы выполнялось соотношение

$$B_{\text{в}} = (1{,}1...1{,}25)D_{\text{в}} . \qquad (4.39)$$

Диаметр вальца (см) можно рассчитать по формуле

$$D_{\text{в}} = 5{,}4\sqrt{q_{\text{л}}} , \qquad (4.40)$$

где $q_{\text{л}}$ – линейное давление, Н/м,

$$q_{\text{л}} = \begin{cases} 100\ldots400 \text{ – для легких,} \\ 400\ldots600 \text{ – для средних,} \\ 600\ldots800 \text{ – для тяжелых катков.} \end{cases}$$

В свою очередь, линейное давление зависит от силы тяжести катка – это распределенная нагрузка, приходящаяся на единицу ширины вальца, т.е.

$$q_{\text{л}} = G_{\text{в}} / B_{\text{в}} , \qquad (4.41)$$

где $G_{\text{в}}$ – сила тяжести катка, приходящаяся на валец, Н,

$B_{\text{в}}$ – ширина вальца, м.

Величина линейного давления должна быть ограничена предельными значениями, зависящими от прочностных характеристик укатываемой смеси, а также от параметров катков. Как отмечалось, в процессе уплотнения происходит постоянный рост прочности и жесткости (модуля упругости) уплотняемого материала. Контактные давления вальца и прочностные характеристики уплотняемой смеси связаны соотношением

$$\sigma_{\max} = (0{,}8...0{,}9)\sigma_{\text{сж}} , \qquad (4.42)$$

где $\sigma_{\max}$ – максимальное контактное давление на материал, МПа;

$\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности материала при сжатии, МПа.

Для проверки расчета диаметра вальца можно использовать соотношение, связывающее параметры уплотнения с характеристиками уплотняемого материала,

$$D_{в} = 2qE_{\text{о}} / \sigma_{\max}^2 , \qquad (4.43)$$

где $E_о$ – модуль упругости уплотняемого материала, $E_о$=80 МПа для АБ смеси.

Максимальное контактное давление зависит от свойств уплотняемого материала и стадии уплотнения (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – **Значения максимального контактного давления (МПа) для различных материалов**

Уплотняемый материал	Начало уплотнения	Завершение уплотнения
Асфальтобетон горячий	0,4−0,5	3,0−3,5
Грунт с битумом	0,3−0,4	1,0−1,5
Грунт с цементом	0,3−0,4	4,0−5,0

Мощность (кВт) *силовой установки* катка с жесткими гладкими вальцами

$$N_к = W\upsilon/(1000к_о\eta_{ход}), \qquad (4.44)$$

где W– общее сопротивление передвижению катка, Н;

υ – скорость катка, м/с;

$к_о$ – коэффициент отбора мощности на привод других агрегатов катка, $к_о$ = 0,7…0,8;

$\eta_{ход}$ – КПД ходовой трансмиссии катка, $\eta_{ход}$ = 0,80…0,85 для гидрообъемной трансмиссии.

Общее сопротивление включает три наиболее значимых составляющих: *сопротивление перемещению катка, сопротивление инерционных сил и сопротивление преодолению криволинейных участков*.

Сопротивление (Н) *перемещению катка* как тележки определяют из выражения

$$W_{пер} = (f + i)G_к, \qquad (4.45)$$

где f – коэффициент сопротивления перемещению,

$$f = \begin{cases} 0{,}10...0{,}15 \text{ – для первого прохода,} \\ 0{,}05...0{,}06 \text{ – для последних проходов,} \\ 0{,}045 \text{ – для уплотненного слоя;} \end{cases}$$

i – индекс уклона, i = 0,10;

$G_к$ – сила тяжести катка, Н.

Сопротивление (Н) *инерции покоя* при трогании с места катка

$$W_{ин} = \frac{G_к}{g}\chi_{вр}\frac{\upsilon}{t_{раз}}, \qquad (4.46)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2;

$\chi_{вр}$ – коэффициент учета вращающихся масс (деталей трансмиссии, двигателя, вальцов), $\chi_{вр}$ = 1,10…1,15;

υ – фактическая скорость катка, м/с;

$t_{раз}$ – время разгона до скорости υ, $t_{раз}$ = 1,0…1,3 с.

Сопротивление (Н) *преодоления криволинейных участков*

$$W_{кр} = к_с G_н , \qquad (4.47)$$

где $к_с$ – коэффициент сопротивления при преодолении криволинейных участков, $к_с$ = 0,2;

$G_н$ – сила тяжести, приходящаяся на направляющий валец, Н.

При проектировании пневмоколесных катков к их основным параметрам относят силу тяжести катка, размер и количество шин, давление воздуха в шинах, ширину уплотняемой полосы. Кроме того, следует учитывать вид уплотняемого материала и толщину уплотняемого слоя.

Пневмокатки характеризуют максимальной нагрузкой на колесо и числом колес. Зная эти показатели и общую силу тяжести катка, можно сопоставить различные типы пневмокатков по эффективности их воздействия на АБ смесь.

В зависимости от глубины уплотнения выбирают типоразмер шины, исходя из следующих соображений:

$$B \geq H ,$$

где B – ширина шины, м;

H – толщина уплотняемого слоя, м;

$$\sigma = \frac{p_ш}{1-e} \leq \sigma_{max} ,$$

где σ – среднее давление на площади контакта шины, Па;

$p_ш$ – давление воздуха в шине, Па;

e – коэффициент, зависящий от давления в шине, e = 0,15…0,60.

Точность выбора среднего давления можно проверить, зная технологические характеристики уплотняемого материала:

$$\sigma = 5C\,\mathrm{tg}^2(45^o + \rho/2) , \qquad (4.48)$$

где C – прочность сцепления (когезионная прочность) материала, МПа,

$$C = \begin{cases} 0{,}02;\ 0{,}15 \text{ – для горячего асфальтобетона,} \\ 0{,}01;\ 0{,}075 \text{ – для холодного асфальтобетона,} \\ 0{,}03;\ 0{,}15 \text{ – для покрытия из щебня, обработанного битумом} \end{cases}$$

(первая цифра – начало уплотнения, вторая – конец уплотнения);

ρ – угол внутреннего трения материала, град,

$$\rho = \begin{cases} 35^0 \text{ – для горячего асфальтобетона,} \\ 45^0 \text{ – для холодного асфальтобетона,} \\ 45^0 \text{ – для покрытия из щебня, обработанного битумом.} \end{cases}$$

Нагрузка на одну шину

$$G_{ш} = qF \ , \tag{4.49}$$

где F – площадь контакта шины (отпечатка) с уплотняемым материалом, м^2.

В свою очередь, *площадь отпечатка* (м^2)

$$F = 2B_{д}\sqrt{\delta(D_{н} - \delta)} \ , \tag{4.50}$$

где $B_{д}$ – ширина беговой дорожки, м;

δ – прогиб шины, $\delta = 0{,}15B_{о}$;

$D_{н}$ – наружный диаметр шины, м.

Точность выбора площади отпечатка проверяют, зная деформацию шины под нагрузкой:

$$F = 9B_{о}\sqrt{\psi B_{о} D_{н} / 2} \ , \tag{4.51}$$

где ψ – коэффициент деформации, $\psi = 0{,}10...0{,}15$;

$B_{о}$ – ширина профиля шины, м.

Исходя из требований равномерного уплотнения, *расстояние между соседними на одной оси пневмовальцами* выбирают по формуле

$$l = к_{ш} B_{о} \ , \tag{4.52}$$

где $к_{ш}$ – коэффициент расстояния между шинами,

$$к_{ш} = \begin{cases} 0{,}2 \text{ – при расположении вальцов в один ряд,} \\ 0{,}8 \text{ – при их расположении в шахматном порядке.} \end{cases}$$

Общее число пневмовальцов зависит от ширины укатываемой полосы:

$$z = 2z_{\text{ос}} + 1,$$

$$z_{\text{ос}} = \frac{1}{1 + \text{к}_{\text{ш}}}\left(\frac{B_{\text{пол}}}{B_{\text{о}}} + \text{к}_{\text{ш}}\right), \tag{4.53}$$

где $z_{\text{ос}}$ – число пневмовальцов на одной оси;

$B_{\text{пол}}$ – ширина укатываемой полосы (за один проход), м.

Как правило, количество вальцов на осях должно различаться на единицу, чтобы перекрывать следы вальцов и устранять следы зазора между ними.

Общая сила тяжести катка

$$G_{\text{к}} = zG_{\text{ш}}\,. \tag{4.54}$$

Для того чтобы определить мощность силовой установки катка с пневмовальцами, можно использовать формулу (4.44), принимая во внимание особенности взаимодействия пневмовальцов с уплотняемым материалом. Проверку правильности расчетов проводят с учетом уравнения тягового баланса, приравняв тяговую характеристику катка $T_{\text{к}}$ и общую силу сопротивления передвижению W и сопоставив $T_{\text{к}}$ с силой сцепления вальцов с асфальтобетоном $P_{\text{сц}}$:

$$T_{\text{к}} \le P_{\text{сц}} \tag{4.55}$$

или

$$G_{\text{к}}\left(f + i + \chi_{\text{вр}}\frac{\upsilon}{t_{\text{раз}}}\right) \le \phi_{\text{сц}} G_{\text{сц}}\,, \tag{4.56}$$

где $\varphi_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления,

$$\varphi_{\text{сц}} = \begin{cases} 0{,}45...0{,}55 \text{ – в начале укатки,} \\ 0{,}60...0{,}65 \text{ – в конце укатки – для пневмокатков,} \\ 0{,}25...0{,}30 \text{ – в начале укатки,} \\ 0{,}10...0{,}15 \text{ – в конце укатки – для катков с жесткими вальцами,} \end{cases}$$

$G_{\text{сц}}$ – сцепная сила тяжести, т.е. сила тяжести катка, приходящаяся на ведущий валец, Н;

$t_{\text{раз}}$ – время разгона, $t_{\text{раз}} = 2\ldots3$ с.

При проектировании вибрационных катков в балансе мощности силовой установки следует учитывать энергозатраты на привод вибровозбудителя.

Мощность (кВт) *привода вибровозбудителя гладкого вибровальца*

$$N_{\text{в}} = \text{к}_{\text{т}}(N_{\text{пол}} + N_{\text{тв}}) / \eta_{\text{пв}}\,, \tag{4.57}$$

где $к_т$ – коэффициент, учитывающий потери мощности на преодоление сил трения в уплотняемом материале, $к_т$ = 1,4…1,5;

$N_{пол}$ – полезная мощность колебаний, кВт;

$N_{тв}$ – мощность для преодоления сил трения в подшипниковых опорах вибровозбудителя, кВт;

$\eta_{пв}$ – суммарный КПД привода вибратора.

Полезной мощностью в инженерных расчетах считают мощность вертикальных колебаний (кВт), поскольку учитывают только их влияние на уплотняемый материал. Ее определяют по формуле

$$N_{кол} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} a\omega P_{вын} \sin\alpha , \qquad (4.58)$$

где a – вертикальная амплитуда колебаний, м;

ω – круговая частота вынужденных колебаний, $с^{-1}$;

α – угол сдвига фаз (между амплитудой вынуждающей силы и вертикальной амплитудой вальца), град.

Вынуждающую силу (Н) находят из выражения

$$P_{вын} = M_д \beta^2 (c_р + c_м)/(m_в + m_м), \qquad (4.59)$$

где $M_д$ – момент дебаланса, $Н \cdot м$;

$$\beta = \omega / \omega_{ск} ,$$

$\omega_{ск}$ – частота собственных колебаний. Гц;

$c_р$ – жесткость рамы катка;

$c_м$ – жесткость уплотняемого материала;

$m_в$ – масса вибровальца, кг;

$m_м$ – масса уплотняемого материала, кг.

Жесткость уплотняемого материала

$$c_м = E_м \sqrt{S_к} , \qquad (4.60)$$

где $E_м$ – модуль упругости материала, МПа;

$S_к$ – площадь контактной поверхности вибровальца, $м^2$.

Масса уплотняемого материала (кг)

$$m_м = (c_р - c_м)/\omega_в^2 - m_{вв} , \qquad (4.61)$$

где $\omega_в$ – собственная угловая частота системы материал – вибровалец,

$$\omega_в^2 = c_м / (m_м + m_к) , \qquad (4.62)$$

$m_к$ – масса катка, кг;

$m_{вв}$ – масса вибровальца, кг.

Мощность (кВт), *затрачиваемую на преодоление сил трения в подшипниковых опорах* вибровозбудителя, определяют по формуле

$$N_{тв} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} \mu_{пк} \omega d_{вн} P_{вын} , \qquad (4.63)$$

где $\mu_{пк}$ – коэффициент трения в подшипниках качения, $\mu_{пк}$ = 0,005…0,007;

$d_{вн}$ – внутренний диаметр подшипника, м.

В инженерных расчетах для предварительной оценки параметров виброкатка используют эмпирическое выражение, связывающее вынуждающую силу с одним из его основных параметров,

$$P_{вын} = (4...6) G_к , \qquad (4.64)$$

где $G_к$ – сила тяжести колеблющихся частей катка, Н.

Приведенное выражение (4.64) справедливо для вибраторов с круговыми колебаниями, которые в основном используют для уплотнения. Если соблюдается приведенное соотношение, амплитуда колебаний вибровальца составляет 0,3–0,7 мм. Как известно, до амплитуды 0,3–0,4 мм вибровалец работает в режиме вибровоздействия без отрыва от уплотняемого материала, при большей амплитуде наблюдается переход в режим вибротрамбования с отрывом от уплотняемой смеси. Это может привести к снижению тяговой способности и устойчивости катка.

Кроме того, для предварительной оценки параметров виброкатка или их проверки можно воспользоваться формулой, которая характеризует вынуждающую силу дебалансного вала как проекцию центробежной силы на вертикальную ось в каждый момент времени:

$$P_{вын} = m_д l \omega^2 , \qquad (4.65)$$

где $m_д$ – масса дебаланса, кг;

l – эксцентриситет, м;

ω – угловая скорость вращения вала, об/с.

При проектировании целесообразно обеспечить возможность регулирования частоты колебаний и вынуждающей (возмущающей) силы, что расширяет их технологические возможности. Как правило, для самоходных виброкатков рекомендуют частоты в пределах 20–70 Гц.

Независимо от режима воздействия виброкатка на уплотняемую смесь на эффективность уплотнения влияет мощность вибрации: с ее увеличением растет плотность материала. Величина мощности вибрации $N_{\text{в}}$ (кВт)

$$N_{\text{в}} = 10^{-3} G_{\text{в}} a_{\max}, \tag{4.66}$$

где $G_{\text{в}}$ – сила тяжести, приходящаяся на ось вибровальца, Н

$a_{\max}$ – максимальная вертикальная амплитуда колебаний, м;

f – частота вибраций ($f = \omega / 2\pi$), Гц.

Мощность (кВт), необходимую для уплотнения, приближенно определяют по формуле

$$N_{\text{у}} = 0{,}3(N_{\text{кол}} + N_{\text{тв}}). \tag{4.67}$$

Формулы (4.57)–(4.67) используют для определения параметров виброкатков, снабженных вибровозбудителем *круговых* колебаний.

Производительность асфальтовых катков определяют в зависимости от поставленной задачи.

Во-первых, можно определить производительность (м^2/ч) по площади уплотняемого участка поверхности:

$$\Pi_{\text{э}} = \text{к}_{\text{в}}(B_{\text{пол}} - a_{\text{пер}})\upsilon_{\text{р}} / n_{\text{пр}}, \tag{4.68}$$

где $a_{\text{пер}}$ – ширина перекрытия соседней полосы, $a_{\text{пер}} = 0{,}2$ м;

$\upsilon_{\text{р}}$ – рабочая скорость катка, $\upsilon_{\text{р}} = (1{,}5\ldots3{,}0)\cdot10^3$ м/с;

$n_{\text{пр}}$ – число проходов.

Во-вторых, в ряде случаев при оценке производительности (м^3/ч) учитывают толщину уплотняемого слоя

$$\Pi_{\text{э}} = \text{к}_{\text{в}}(B_{\text{пол}} - a_{\text{пер}})h_{\text{пок}}\upsilon_{\text{р}} / n_{\text{пр}}, \tag{4.69}$$

где $h_{\text{пок}}$ – толщина уплотняемого слоя покрытия, м.

5 МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

5.1 Классификация и свойства цементобетонов

Для строительства автомобильных дорог I–III категорий, а также взлетно-посадочных полос аэродромов используют цементобетон. *Цементобетоном* называют композиционный каменный материал, который получают в результате перемешивания, укладки, уплотнения и затвердевания смеси из щебня (или гравия), песка, цемента, воды и специальных добавок при заданном соотношении этих компонентов. *Цементобетонной смесью* называют смесь перечисленных компонентов до затвердевания. *Сухой цементобетонной смесью* называют смесь этих же компонентов, но *без воды*.

В соответствии со стандартом СТБ 1310-2002 «Бетоны. Классификация. Общие технические требования» бетоны классифицируют по ряду признаков, в том числе по средней плотности, назначению, виду вяжущего, виду заполнителей, структуре и др.

По средней плотности (ρ_c, кг/м^3) бетоны разделяют:

– *на особо тяжелые* – $\rho_c > 2500$;

– *тяжелые* – 2000…2500;

– *легкие* – 600…2000;

– *особо легкие* – < 600.

По назначению бетоны разделяют на *конструкционные*, предназначенные для бетонных и железобетонных конструкций и зданий, и *специальные*, в числе которых *дорожные* – для автомобильных дорог.

Дорожные цементобетоны являются разновидностью тяжелых бетонов и применяются для устройства покрытий и оснований дорожной одежды автомобильных дорог.

Основными характеристиками дорожного цементобетона являются *прочность, морозостойкость, водопроницаемость* и *водопоглощение*.

Прочностные характеристики бетона зависят от свойств заполнителей и вяжущих материалов, а также от соотношения концентраций воды (В) и цемента (Ц) (его называют *водоцементным отношением*– В/Ц). На рисунке 5.1

представлена зависимость прочности при сжатии цементобетона от водоцементного отношения. Как видно, эта зависимость носит экстремальный характер, что требует точной дозировки компонентов. При малой величине В/Ц, т.е. при небольшом содержании воды, смесь трудно уплотнить, что сказывается на прочности бетона. С увеличением содержания воды прочность бетона возрастает, достигая максимальных значений при оптимальном водоцементном отношении. При дальнейшем увеличении содержания воды прочность бетона снижается, поскольку избыточная вода ухудшает его структуру.

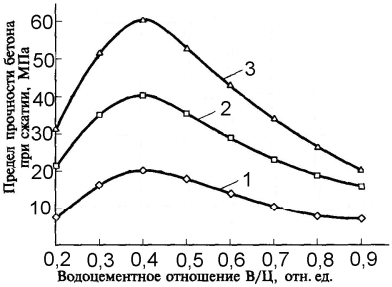


Рисунок 5.1 – Влияние водоцементного отношения на прочность при сжатии дорожного бетона на основе цемента марки:
1 – М200; 2 – М400; 3 – М600

Прочность бетона характеризуют *классом* или *маркой*. *Класс* представляет собой гарантированную нормированную прочность бетона (в МПа) с обеспеченностью 95 % с учетом однородности бетона, которая характеризуется коэффициентом вариации. *Маркой* называют нормируемое значение средней прочности бетона (в кгс/см^2 или 10^{-1} МПа) без учета его однородности. В таблице 5.1 представлены классы и марки бетона по прочности на сжатие.

Водопоглощение бетона составляет от 3 до 10 мас. % и влияет на его плотность. При увеличении содержания заполнителей оно уменьшается.

Основными вяжущими для дорожного бетона являются непластифицированный и пластифицированный портландцемент, а также гидрофобный портландцемент без минеральных добавок. Для оснований дорожной одежды используют также портландцемент с минеральными добавками и шлакопортландцемент.

Портландцемент – это измельченный порошок обожженного до спекания мергеля (полускального грунта, состоящего из известняка и глины с содержанием глинистых частиц 25–60 %).

Бетонные смеси могут быть готовыми к употреблению и сухими, которые перед укладкой затворяются (т.е. насыщаются) водой. Эти смеси должны соответствовать СТБ 1035-96 «Смеси бетонные. Технические условия», согласно которому к ним предъявляются требования по *удобоукладываемости, плотности, жизнеспособности, расслаиваемости* и др.

Удобоукладываемость смеси оценивают ее подвижностью или жесткостью. *Подвижность* смеси – это ее способность за определенное время деформироваться под действием собственного веса. *Жесткость* смеси – это ее способность сопротивляться уплотняющему воздействию вибрации (с частотой 50 Гц и амплитудой 0,5 мм). *Удобоукладываемость* смеси зависит

от содержания воды, типа, концентрации и размеров заполнителя, свойств и содержания вяжущего вещества, температуры смеси и окружающей среды, а также от наличия химических добавок. Удобоукладываемость выбирают в зависимости от способа ее распределения и уплотнения, размеров объекта и степени его армирования. В зависимости от этой характеристики смеси разделяют на жесткие, подвижные, пластичные и литые.

Бетоны, изготовленные с учетом требований упомянутого стандарта, будут иметь заданные прочность, плотность, морозостойкость, водонепроницаемость и др.

Таблица 5.1 – **Классы и марки бетона**

Класс бетона по прочности В	Средняя прочность бетона *R*, кгс/см^2, при *V*= = 13,5 % и обеспеченности 95 %	Ближайшая марка бетона по прочности на сжатие, М	Отклонение ближайшей марки бетона от средней прочности класса, %, (М-*R*) /*R*100
ВО,35	5,01	М5	-0,2
ВО,75	10,9	М10	-7,8
В1	14,5	М15	+ 0,2
В1,5	20,9	М20	-4,1
В2	28,4	М25	- 13,8
В3,5	45,8	М50	+ 9,2
В5	55,0	М75	+ 14,5
В7,5	98,2	Ml 00	+ 1,8
В10	131,01	Ml 50	+ 14,5
В12,5	163,7	Ml 50	-8,4
В15	196,5	М200	+ 1,8
В20	261,9	М250	-4,5
В22,5	294,5	М300	+ 1,9
В25	327,4	М350	+ 6,9
В27,5	359,9	М350	-2,7
В30	392,1	М400	+ 1,8
В35	458,4	М450	- 1,8
В40	523,9	М550	+ 5
В45	589,4	М600	+ 1,8
В50	654,8	М700	+ 6,9
В55	720,3	М700	-2,8
В60	785,8	М800	+ 1,8
В65	851,5	М900	+ 5,7
В70	917,0	М900	- 1,8
В75	932,5	Ml000	+ 1,8
В80	1048,0	Ml000	-4,9

В зависимости от типа дорожного покрытия выбирают проектные классы дорожного бетона по прочности на сжатие, осевое растяжение и растяжение при изгибе. В таблице 5.2 представлены проектные классы дорожного бетона по прочности на сжатие.

Таблица 5.2 – **Проектные классы дорожного бетона по прочности**

Тип дорожного покрытия	Минимальные проектные классы бетона по прочности на сжатие
Однослойное сборное из железобетонных, предварительно напряженных плит, армированное: – проволочной арматурой или арматурными канатами – стержневой арматурой	 В30 В25
Однослойное монолитное цементобетонное, армобетонное и железобетонное с ненапрягаемой арматурой	В30
Верхний слой монолитного цементобетонного, армобетонного или железобетонного двухслойного покрытия с ненапрягаемой арматурой	В30
Нижний слой двухслойного покрытия и подшовные плиты	В20

5.2 Оборудование для приготовления цементобетонных смесей

Стабильность физико-механических характеристик цементобетонов является определяющим фактором долговечности изделий из них, включая покрытия и профили. В свою очередь, она зависит от однородности цементобетонных смесей, которая определяется точностью дозировки компонентов и равномерностью их распределения.

Цементобетонная смесь – это состав, состоящий из минерального вяжущего (цемента), воды и минеральных наполнителей (песка, щебня или гравия), который при заданном соотношении компонентов после отверждения цемента превращается в цементобетон необходимой прочности и долговечности.

Приготовление цементобетонных смесей является ответственным и трудоемким этапом создания бетонных изделий. Он включает две основные операции: *дозирование* компонентов и их *смешивание*. Для смешивания компонентов применяют специальные устройства – *бетоносмесители*. Для дозирования компонентов, их загрузки в смесительную камеру и выгрузки готовой смеси используют вспомогательное оборудование. Оно может быть агрегатировано со смесителем или же выполнено как самостоятельная единица в составе комплекта оборудования бетонного завода.

Бетоносмесители классифицируют по ряду основных признаков:

1) характеру работы – установки циклического и непрерывного действия;

2) принципу смешивания компонентов – установки свободного (гравитационного), принудительного и комбинированного смешивания;

3) способу загрузки – со скиповым ковшом, специальным дозатором, загрузочной воронкой, ручной загрузкой;

4) степени мобильности – стационарные и передвижные;

5) степени автоматизации – неавтоматизированные, полуавтоматизированные и автоматизированные с программным управлением;

6) типу управления – с ручным, электромеханическим, гидравлическим и пневматическим.

На рисунке 5.2 представлены принципиальные схемы перемешивания компонентов в смесительных установках. *Смесители циклического (периодического) действия* (рисунок 5.2, *а – г)* работают последовательными циклами, каждый из которых включает операции загрузки отдозированных компонентов, их перемешивания и выгрузки готовой смеси. Таким образом, выдача готовой смеси производится отдельными порциями, объем которой является главным параметром смесителей циклического действия. В соответствии со стандартом в СНГ выпускают бетоносмесители девяти типоразмеров с объемом готовой смеси от 65 до 3000 л (из них три – передвижные, шесть – стационарные).

Смесители циклического действия для бетонных смесей разделяют на следующие типы: БГ – бетоносмесители гравитационные для приготовления подвижных бетонных смесей; БП – бетоносмесители принудительного действия роторные для приготовления жестких и подвижных бетонных смесей, а также сухих смесей; БП-2Г – бетоносмесители принудительного действия с двумя горизонтальными валами.

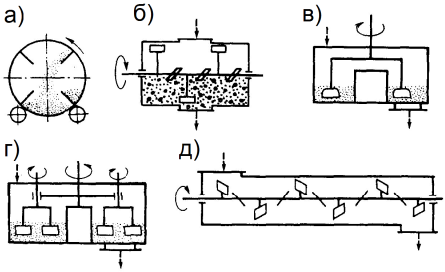


Рисунок 5.2 – Схемы перемешивания компонентов в смесительных агрегатах: *а – г* – циклического действия; *д* – непрерывного действия

В смесителях непрерывного действия (рисунок 5.2, *д*) загрузку компонентов, их перемешивание и выгрузку готовой смеси производят одновременно и непрерывно. Отдозированные компоненты поступают сверху через загрузочную воронку непрерывным потоком и смешиваются в камере при продвижении к разгрузочному отверстию. Эти машины отличаются большой производительностью, поэтому их, как правило, применяют для приготовления больших объемов бетонной смеси одной марки. Главным параметром смесителей непрерывного действия является их производительность, т.е. объем смеси, выработанной за единицу времени.

При сопоставлении смесителей циклического и непрерывного действия следует отметить их технологические особенности. *При циклическом спосо-*

бе приготовления смеси 25–35 % рабочего времени приходится на вспомогательные операции, в том числе на загрузку компонентов, выгрузку из смесительной камеры готовой смеси и др. Кроме того, перемешивание сразу всей порции смеси требует довольно больших энергозатрат. Вместе с тем, в смесителях циклического действия можно оперативно сменить состав смеси при переходе с одной марки цементобетона на другую. *При непрерывном способе* загрузка компонентов осуществляется тонким слоем и их смешивание протекает в основном в поперечном направлении, что обеспечивает существенное снижение энергозатрат по сравнению с циклическим способом. Однако смесители непрерывного действия имеют повышенную трудоемкость смены состава смеси при переходе с одной на другую марку цементобетона.

Мобильность смесителей связана с объемами работ. *Передвижные смесители* используют на объектах с небольшими объемами бетонных работ, а *стационарные* входят в состав технологических линий бетоносмесительных установок заводов.

Для смешивания используют *свободное* и *принудительное* смешение компонентов. *В гравитационных смесителях* смешивание компонентов происходит в результате подъема и свободного падения смеси внутри вращающегося барабана, снабженного лопастями на внутренней поверхности (см. рисунок 5.2, *а*). При вращении барабана смесь поднимается лопастями до заданной высоты и затем падает вниз под действием собственной силы тяжести, В результате столкновения падающих потоков компонентов происходит перемешивание частиц. Однородность смеси обеспечивается при 30–40 оборотах барабана. Частота его вращения не должна превышать 0,3–0,4 $с^{-1}$ во избежание возникновения центробежных сил, которые затрудняют свободную циркуляцию смеси. Как правило, ось вращения барабана располагают горизонтально или под углом до 15°. Гравитационные смесители имеют простую конструкцию, отличаются малой энергоемкостью, простотой обслуживания и эксплуатации. Они способны перемешивать подвижные и умеренно подвижные смеси, но не обеспечивают достаточной однородности жестких и малоподвижных смесей. Оптимальное время смешивания составляет 60–90 с, а полный цикл работы – до 200 с.

Гравитационные бетоносмесители циклического действия по способу разгрузки разделяют на *опрокидные* и *неопрокидные*. *В опрокидных смесителях* разгрузку готовой смеси производят наклоном барабана в сторону разгрузочного люка. В свою очередь, *неопрокидные* могут быть *реверсивными*, разгружаемыми в результате обратного вращения барабана, а также нереверсивными *с разгрузочным лотком* с горизонтальной и наклонной осью вращения.

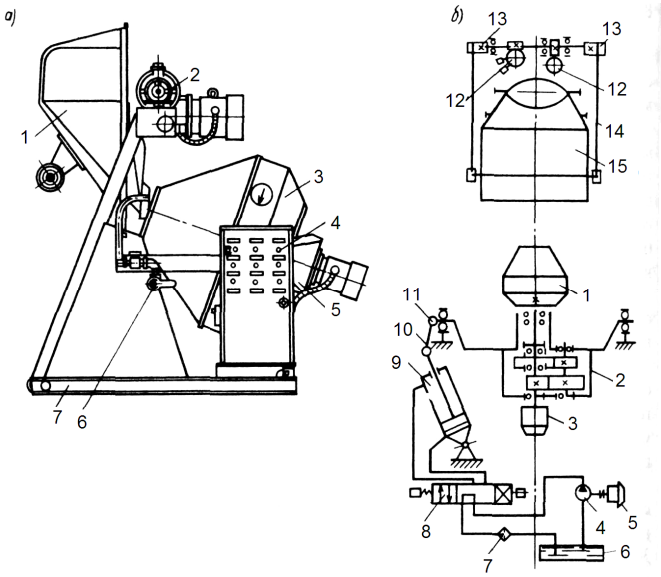


Рисунок 5.3 – Гравитационный смеситель циклического действия:
а – общий вид:
1 – скиповый ковш; 2 – механизм подъема ковша; 3 – смесительный барабан;
4 – пульт управления; 5 – привод барабана; 6 – система водоснабжения; 7 – рама;
б – кинематическая схема:
1 – смесительный барабан; 2 – редуктор; 3 – электродвигатель механизма вращения барабана;
4 – гидронасос; 5 – электродвигатель; 6 – бак для минерального масла; 7 – фильтр;
8 – гидрораспределитель; 9 – гидроцилиндр для опрокидывания барабана; 10 – рычаг;
11 – траверса; 12 – червячная передача; 13 – барабан лебедки; 14 – канат; 15 – скиповый ковш

Передвижные гравитационные бетоносмесители с объемом готовой смеси 165 и 330 л оборудованы ковшовыми подъемниками для загрузки предварительно отдозированных сухих компонентов в смесительные барабаны и устройствами для дозировки воды. На рисунке 5.3 представлены конструктивная и кинематическая схемы передвижного гравитационного бетоносмесителя циклического действия с загрузочным скиповым подъемником. Он состоит из смесительного барабана, скипового ковша, системы водоснабжения и пульта управления, смонтированных на общей раме. Механизм вращения барабана состоит из электродвигателя и редуктора; механизм его опрокидывания включает электродвигатель, гидронасос и силовой гидроцилиндр. Механизм подъема и опускания скипового подъемника состоит из электродвигателя, двух червячных передач и двух барабанов с канатами.

Стационарные гравитационные бетоносмесители циклического действия выполняют с наклоняющимися смесительными барабанами, которые имеют форму типа «цилиндр – конус» или «конус – конус». Как правило,

механизм опрокидывания барабана имеет пневматический или гидравлический привод.

Гравитационные бетоносмесители непрерывного действия имеют, как правило, цилиндрический барабан с горизонтальной осью (рисунок 5.4). Корпус барабана 1 охватывают два бандажа 2, каждый из которых опирается на два опорных ролика 13. Вращение от ведущей шестерни 12, соединенной через редуктор 11 с двигателем 8, передается на барабан через зубчатый венец 5, который прикреплен к одному из бандажей. Исходные сухие компоненты загружают в барабан через загрузочную воронку 7 и с помощью лопастей 3 перемешивают, одновременно перемещая смесь к разгрузочному люку. Воду и добавки разбрызгивают из струйно-распылительного устройства 4, соединенного с дозаторами 6, которое расположено вблизи загрузочного люка. Лопасти в конце барабана установлены так, что они выгружают готовую смесь через разгрузочный люк в распределительный лоток.

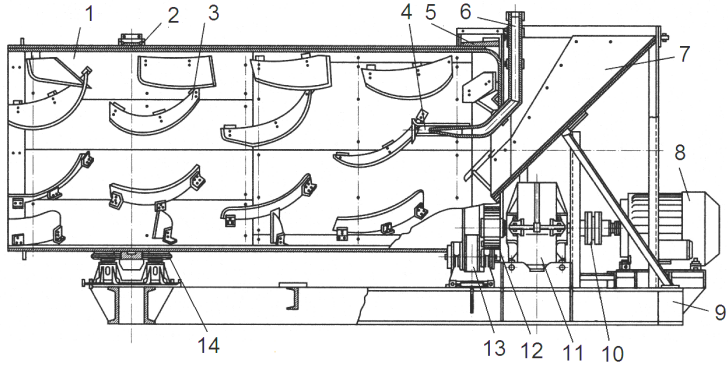


Рисунок 5.4 – Гравитационный смеситель непрерывного действия:
1 – барабан; 2 – бандаж; 3 – лопасть; 4 – водяная форсунка; 5 – зубчатый венец привода барабана; 6 – труба; 7 – загрузочная воронка; 8 – двигатель; 9 – рама;
10 – соединительная муфта; 11 – редуктор; 12 – ведущая шестерня; 13 – опорный ролик;
14 – упорный ролик

Их производительность регулируют, управляя производительностью дозаторов компонентов. Как было отмечено, эти смесители при приготовлении бетонных смесей разных марок по трудоемкости переналадки уступают смесителям циклического действия, но вполне работоспособны при приготовлении больших объемов смеси одной марки. Барабаны этих смесителей могут также иметь грушевидную и конусную формы.

Смесители принудительного действия имеют более широкие технологические возможности по сравнению с гравитационными смесителями. Они способны перемешивать компоненты для бетонных смесей любой консистенции. Кроме того, особенностями их конструкции являются компактность и низкая металлоемкость, но более высокая энергоемкость по сравнению с гравитационными смесителями. Смешивание производят в емкости (барабане, чаше и др.) с

помощью лопастей, установленных на вале (см. рисунок 5.2, *б, д*) или на роторе (см. рисунок 5.2, *в, г*). Смесители с вертикальным расположением смешивающих валов в чаше цилиндрической формы называют *чашеобразными* (или *тарельчатыми*), а с горизонтальным расположением валов в корытообразном корпусе – *лотковыми* (или *корытообразными*).

Чашеобразные бетоносмесители (рисунок 5.5) являются *машинами циклического действия*. Их можно классифицировать следующим образом:

– *конструкции* – планетарно-роторные и роторные;

– *количеству вертикально расположенных валов* – одно- и двухвальные;

– *расположению валов* – с эксцентрично и концентрично расположенными валами;

– *типу перемешивающего устройства* – противоточные и прямоточные с вращающимся или неподвижным корпусом.

В *прямоточных смесителях* (рисунок 5.5, *б*) направление вращения лопастного вала совпадает с направлением движения смешиваемых компонентов, которое обеспечивают вращающимся корпусом (чашей) или лопастями, закрепленными на траверсе, в *противоточных* (рисунок 5.5, *в, г*) – вращающаяся чаша или траверса со скребками направляет смешиваемые компоненты к лопастным валам.

У роторных бетоносмесителей более простая конструкция, чем у планетарно-роторных, так как они не имеют вращающихся лопастных валов. Стандартом предусмотрены восемь типоразмеров бетоносмесителей циклического действия с принудительным смешиванием от 65 до 3000 л.

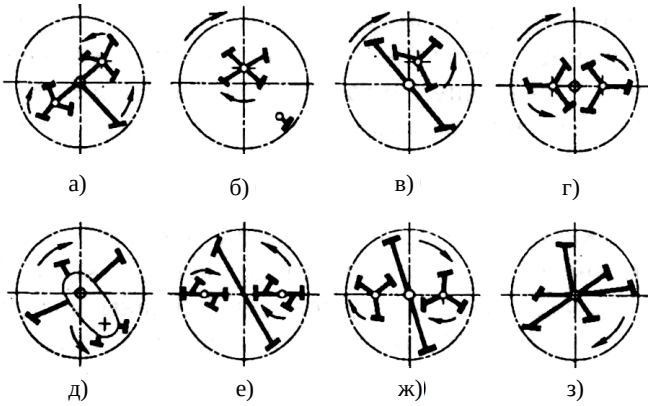


Рисунок 5.5 – Схемы чашеобразных смесителей:
а – планетарно-роторного; *б* – прямоточного с вращающимся корпусом;
в, г – противоточного с вращающимся корпусом; *д* – планетарно-роторного с одним планетарным валом; *е* – планетарно-роторного с бегунами; *ж* – планетарно-роторного с двумя скребками; *з* – роторного

На рисунке 5.6 представлена схема роторного смесителя. Предварительно отдозированные компоненты смеси перемешиваются в кольцевой рабо-

чей зоне с помощью лопастей ротора, укрепленных на различном расстоянии от оси вращения и тем самым перекрывающих всю площадь смесительного пространства. Ротор вращается с частотой 0,5–0,6 $с^{-1}$ от мотор-редуктора, установленного вертикально. Рабочие поверхности лопастей расположены под различными углами к траектории их движения.

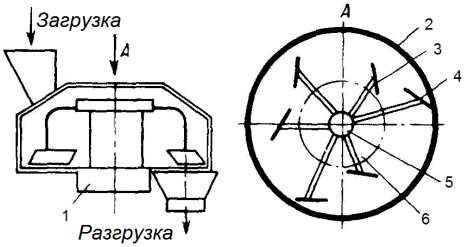


Рисунок 5.6 – Принципиальная схема роторного бетоносмесителя циклического действия с принудительным перемешиванием:
1 – мотор-редуктор; 2 – корпус; 3, 4 – смесительные лопасти; 5 – ротор; 6 – стакан

Такая схема установки лопастей за счет создания продольных и поперечных потоков смешиваемых компонентов обеспечивает качественное перемешивание смесей любой консистенции. Смешивающие лопасти имеют амортизаторы, которые позволяют им поворачиваться даже при попадании в камеру крупных предметов. Кроме того, помимо смешивающих лопастей камера снабжена жестко установленными очистными лопастями, которые во время разгрузки полностью очищают ее изнутри. Приготовленная смесь выгружается через разгрузочный люк, который перекрывается затвором с рычажным или пневматическим приводом.

Лотковые бетоносмесители обеспечивают приготовление любых смесей, в том числе на пористых заполнителях, имеющих плотность до 1200 кг/$м^3$. Их можно классифицировать по следующим признакам:

– *по характеру работы* – смесители циклического и непрерывного действия;

– *по количеству горизонтально расположенных валов* – одно- и двухвальные;

– *по схеме установки лопастей* на валах – с поточной и поточно-контурной.

Как правило, *одновальные лотковые смесители* являются машинами циклического, а *двухвальные* – машинами непрерывного действия. Смесители с одним валом и выгрузкой опрокидыванием используют в основном для цементных растворов, поскольку их шнековые лопасти располагаются вблизи стенок корпуса и легко заклиниваются щебнем.

В двухвальных смесителях валы, вращающиеся в противоположных направлениях, создают оптимальные условия для ускоренного перемешивания компонентов различной плотности и крупности. Имеется несколько вариантов установки лопастей на валах.

При поточной схеме лопасти обоих валов обеспечивают однонаправленное движение смеси от загрузочного люка к разгрузочному.

При поточно-контурной схеме лопасти одного вала перемещают смесь в направлении разгрузочного люка, а другого – в обратном направлении. На

рисунке 5.7 представлена схема смесителя, имеющего поточно-контурную схему расположения валов. В корпусе 3 смесителя установлены два лопастных вала 4, которые вращаются с частотой 0,6 $с^{-1}$ навстречу друг другу. Их привод состоит из электродвигателя, клиноременной передачи и редуктора (на рисунке не показаны). Выходной вал редуктора соединен муфтой с одним из валов смесителя. Для синхронности вращения валы 4 связаны между собой цилиндрическими зубчатыми колесами 1. Валы синхронно вращаются, обеспечивая интенсивное встречное движение смеси в поперечном направлении за счет заданного расположения лопастей. Угол их поворота можно менять в интервале от 0 до 90°, что позволяет регулировать производительность смесителя. Во избежание вытекания смеси в торце корпуса 3 установлены отбойные конусы 2. К раме 8 прикреплен накопительный бункер 7 с секторным затвором 6, который предотвращает простои смесителя и обеспечивает быструю загрузку транспорта. Корпус смесителя изнутри футеруют износостойкой легкосменяемой облицовкой (стальной, керамической, из полимерных композитов). Работа смесителя взаимосвязана с работой дозаторов и других вспомогательных устройств и механизмов с помощью автоблокировки, а управление его эксплуатацией автоматизировано.

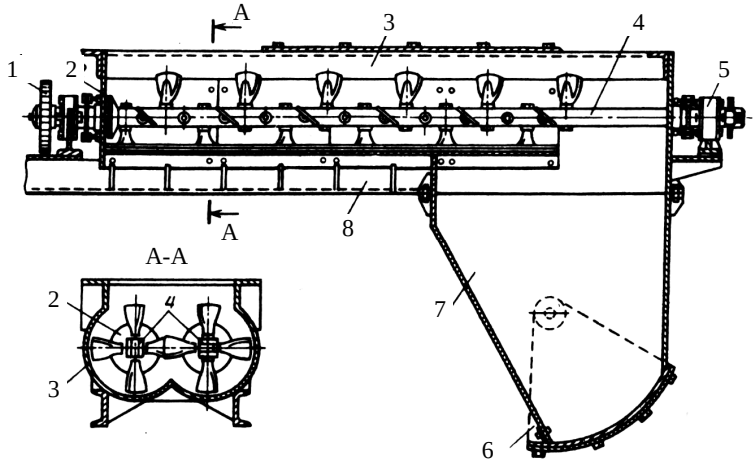


Рисунок 5.7 – Лотковый бетоносмеситель непрерывного действия с принудительным перемешиванием:
1 – зубчатое колесо; 2 – отбойный конус; 3 – корпус смесителя; 4 – лопастные валы; 5 – подшипник; 6 – секторный затвор; 7 – накопительный бункер; 8 – рама

Бетоносмесители непрерывного действия с принудительным перемешиванием используют для приготовления жестких и подвижных смесей с крупностью заполнителя до 40 мм. Двухвальные бетоносмесители выпускают четырех

типоразмеров с производительностью от 5 до 60 м^3/ч. Ими комплектуют передвижные бетоносмесительные установки, которые обслуживают крупные объекты с большим потреблением цементобетонных смесей.

По удельной энергоемкости бетоносмесители имеют следующие показатели. Наименьшей энергоемкостью (1,1–1,3 кВт/м^3) обладают гравитационные смесители, затем следуют лотковые (3,2–3,4 кВт/м^3) и чашеобразные (3,5–4,0 кВт/м^3) смесители принудительного действия.

Расчет основных параметров бетоносмесителей. *В гравитационных бетоносмесителях циклического действия* смешивание происходит под воздействием внутренних стенок барабана, а также смешивающих элементов. В радиальном направлении высокая скорость смешивания компонентов обусловлена силами тяжести. В осевом направлении смешивание обеспечивает форма барабана (грушевидная или конусная), а также конфигурация и ориентация смешивающих элементов (лопастей или плужков), установленных на внутренних стенках барабана.

Главным параметром *бетоносмесителя циклического действия* является объем готовой смеси. Как было отмечено, имеется девять типоразмеров гравитационных смесителей циклического действия с объемом готовой смеси 65, 165, 330, 500, 800, 1000, 1600, 2000 и 3000 л.

Объем сухих компонентов $V_{\text{ск}}$ связан с объемом готовой смеси следующим соотношением:

$$V_{\text{ск}} = V_{\text{гс}} / \text{к}_{\text{вс}}\,, \tag{5.1}$$

где $V_{\text{гс}}$ – объем готовой смеси в одном замесе, л;

$\text{k}_{\text{вс}}$ – коэффициент выхода смеси,

$$\text{k}_{\text{вс}} = \begin{cases} 0,65...0,70 \text{ – для бетонных смесей;} \\ 0,85...0,95 \text{ – для растворов.} \end{cases}$$

Вместимость смесительного барабана $V_{\text{сб}}$, в свою очередь, связана с объемом сухих компонентов соотношением

$$V_{\text{сб}} = (2...3)V_{\text{ск}}\,. \tag{5.2}$$

Объем сухих компонентов, т.е. вместимость бетоносмесителя по загрузке, является основным параметром, влияющим на геометрические характеристики барабана. Для их определения существует ряд эмпирических зависимостей, позволяющих спроектировать барабан.

Геометрические характеристики лопастного устройства выбирают, исходя из принятого вида потокообразования смеси и углов установки лопастей. Высота лопастей зависит от конфигурации барабана, требуемого зазора между стенками барабана и днищем, а также необходимости перекрытия зон смешивания компонентов. Она зависит от диаметра барабана:

$$h_x = \left(\frac{1}{4}...\frac{1}{6}\right) D_x \,, \qquad (5.3)$$

где h_x – высота лопасти от поверхности барабана, м;

D_x – диаметр сечения барабана в месте определения высоты лопасти, м.

Частоту вращения барабана выбирают с учетом необходимости предотвращения отрицательного воздействия центробежных сил на частицы компонентов при смешивании. В инженерных расчетах барабанов коническо-цилиндрической формы для определения частоты их вращения (об/мин) используют формулу

$$n = \sqrt{400 / D_{\text{цил}}} \,, \qquad (5.4)$$

где $D_{\text{цил}}$ – диаметр цилиндрической части барабана, м.

Мощность силовой установки *гравитационного бетоносмесителя (с двухконусным барабаном)* на привод вращения барабана расходуется на следующие основные сопротивления:

1) подъем смешиваемых компонентов в барабане;
2) силы трения от качения бандажей по опорным роликам;
3) силы трения в подшипниках качения роликов;
4) силы сопротивления в трансмиссии.

Для определения сил сопротивления, возникающих при вращении барабана, используют схемы, представленные на рисунке 5.8.

При вращении барабана происходит подъем и смещение материала (его центра масс) на угол, величина которого зависит от подвижности смеси.

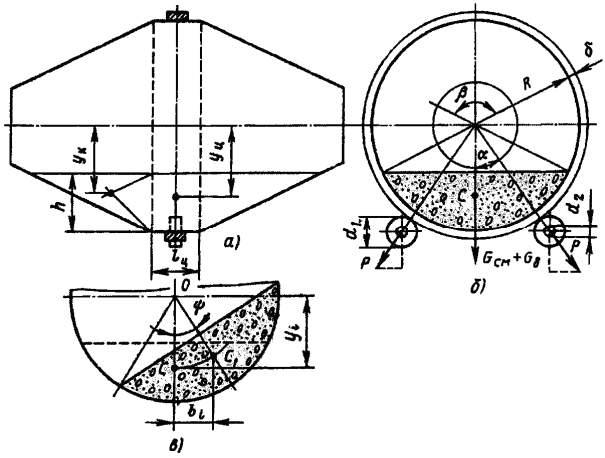


Рисунок 5.8 – Схемы для расчета мощности привода барабана гравитационного смесителя циклического действия

Считают, что угол смещения равен углу естественного откоса материала ($\psi = 40...45^{o}$).

Сила сопротивления (Н), *связанная с подъемом и смещением материала* в барабане и приведенная к ободу бандажа,

$$W_{см} = \frac{G_ц b_ц + G_к b_к}{R + \delta}, \qquad (5.5)$$

где $G_ц$ и $G_к$ – силы тяжести смеси в цилиндрической и конических частях барабана, Н;

$b_ц$ и $b_к$ – плечи сил тяжестей смеси в цилиндрической и конической частях барабана, м;

R – радиус барабана, м;

δ – толщина бандажа, м.

Для определения силы тяжести смеси в цилиндрической части барабана используют формулу

$$G_ц = \rho_с g F_ц l_ц, \qquad (5.6)$$

где $\rho_с$ – насыпная плотность сухой смеси, $\rho_с$ = 1400…1500 кг/м^3;

$F_ц$ – площадь сечения смеси в цилиндрической части барабана, м^2;

$l_ц$ – длина цилиндрической части барабана, м.

Площадь $F_ц$ (м^2) определяют как площадь кругового сегмента:

$$F_ц = \frac{R^2}{2}(\beta - \sin\beta), \qquad (5.7)$$

где β – угол, рад.

Силу тяжести смеси в конических частях барабана определяют как разность между силами тяжести смеси (сухих компонентов) при начальной загрузке $G_{заг}$ и в цилиндрической части $G_ц$ барабана:

$$G_к = G_{заг} - G_ц, \qquad (5.8)$$

где $G_{заг} = \rho_с g V_{ск}$.

С использованием схем, приведенных на рисунке 5.8, можно определить плечи сил тяжестей в цилиндрической и конической частях смесительного барабана. Так, плечо в цилиндрической части

$$b_ц = y_ц \sin\psi\ , \qquad (5.9)$$

где $y_ц$ – расстояние от оси барабана до центра масс кругового сегмента, который занимает смесь в цилиндрической части барабана, м;

$$y_ц = \frac{4R\sin^3\frac{\beta}{2}}{3(\beta - \sin\beta)}.$$

Плечо силы тяжести смеси в конической части барабана

$$b_к = y_к \sin\psi\ , \qquad (5.10)$$

$$y_к = R - \frac{2h}{3}\ ,$$

где $y_к$ – расстояние от оси барабана до центра масс материала в конической части барабана, м;

h – толщина слоя смеси, м.

Силы трения (Н) от качения бандажа по опорным роликам и в подшипниках скольжения роликов, приведенные к ободу бандажа,

$$W_{тр} = \frac{G_{см} + G_б}{\cos\alpha}\left(\frac{к_{кач}}{R+\delta} + \mu_1\frac{d_2}{d_1}\right), \qquad (5.11)$$

где $G_б$ – сила тяжести барабана, Н;

α – угол установки роликов, $\alpha = 30^0$;

$к_{кач}$ – коэффициент трения качения, $к_{кач} = 0{,}002\ldots0{,}005$;

μ_1 – коэффициент трения скольжения в подшипниках опорных роликов;

d_1 – диаметр ролика, м;

d_2 – диаметр оси ролика, м.

Таким образом, мощность (кВт) привода вращения смесительного барабана

$$N = (W_{см} + W_{тр})\upsilon/(1000\eta_{тр})\ , \qquad (5.12)$$

где υ – окружная скорость бандажа барабана, м/с;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии барабана.

В *бетоносмесителях принудительного действия роторного типа* мощность привода смешивающего агрегата зависит от его конструктивных параметров, в том числе от конфигурации и ориентации лопастей, объема и реологических характеристик смеси, частоты взаимодействия компонентов с лопастями и др. Она расходуется на преодоление сопротивлений, связан-

ных с деформированием смеси и ее перемещением в корпусе смесителя. Для инженерных расчетов используют методику, основанную на оценке всех видов сопротивления с помощью коэффициентов удельного сопротивления, полученных экспериментальным путем.

При проектировании *бетоносмесителей циклического действия*, как правило, используют эмпирические зависимости, связывающие основные конструктивные параметры.

Наружный диаметр (м) *корпуса смесителя* определяют по формуле

$$D_{\max} = \sqrt{4V_{\text{гс}} / (\pi h)}\ , \tag{5.13}$$

где $V_{\text{гс}}$ – объем готовой смеси в одном замесе, м^3;

h – высота слоя смеси в корпусе бетоносмесителя, м.

Средний диаметр (м) *кольцевого смесительного пространства*

$$D_{\text{ср}} = 0{,}66 D_{\max}\ .$$

Диаметр (м) *внутреннего кольца* определяют из выражения

$$d_{\min} = 2D_{\text{ср}} - D_{\max}\ . \tag{5.14}$$

Мощность (кВт) *двигателя, необходимая для вращения ротора*,

$$N = M\omega_{\text{р}} / (1000\eta_{\text{пр}})\ , \tag{5.15}$$

где M – суммарный крутящий момент на лопастном валу, $\text{кН}\cdot\text{м}$;

$\omega_{\text{р}}$ – угловая скорость ротора, с$^{-1}$;

$\eta_{\text{пр}}$ – КПД привода ротора,

$$\omega_{\text{р}} = 2\upsilon_{\text{ср}} / D_{\text{ср}}\ , \tag{5.16}$$

$\upsilon_{\text{ср}}$ – окружная скорость условной средней лопасти, ограниченной средним диаметром кольцевого смесительного пространства, м/с,

$$\upsilon_{\text{ср}} = \frac{2}{3}\upsilon_{\text{кр}}\ , \tag{5.17}$$

$\upsilon_{\text{кр}}$ – критическая средняя скорость для условной средней лопасти, зависящая от объема готовой смеси, м/с,

$$\upsilon_{кр} = \begin{cases} 2{,}04 - \text{для } V_{гс} = 0{,}165 \text{ м}^3, \\ 3{,}39 - \text{для } V_{гс} = 2{,}0 \text{ м}^3. \end{cases}$$

Суммарный крутящий момент (кНм) на лопастном валу определяют по формуле

$$M = к_{сс} \sum S_л \frac{1}{2} D_{ср} \ , \qquad (5.18)$$

где $k_{сс}$ – коэффициент сопротивления смеси, кПа,

$$k_{сс} = \begin{cases} 64...83 - \text{для жестких смесей}, \\ 25...34 - \text{для пластичных смесей}, \end{cases}$$

$\sum S_л$ – суммарная фронтальная поверхность лопастей, м^2,

$$\sum S_л = V_{зам} \lambda / \upsilon_{ср} \ , \qquad (5.19)$$

где $\lambda = 0{,}45…0{,}65$ с$^{-1}$.

Производительность бетоносмесителя зависит от вместимости барабана и продолжительности процесса перемешивания, которая, в свою очередь определяется соотношением основных компонентов в смеси, т.е. цемента и воды. Как правило, время приготовления обычной бетонной смеси составляет 60–150 с, жесткой – до 240 с.

Производительность (м^3/ч) *бетоносмесителей циклического действия*

$$П_ц = 3600 к_в V_{гс} / (1000 T_ц) \ , \qquad (5.20)$$

где $к_в$ – коэффициент использования машины по времени, $к_в = 0{,}65…0{,}70$;

$V_{гс}$ – объем готовой смеси, л;

$T_ц$ – время цикла,

$$T_ц = t_з + t_с + t_в \ ,$$

$t_з$ – продолжительность загрузки барабана, $t_з = 10…20$ с;

$t_с$ – продолжительность смешивания компонентов, $t_с = 60…90$ с;

$t_в$ – продолжительность выгрузки готовой смеси и возврата барабана в исходное положение, $t_в = 10…20$ с.

Для *лопастных бетоносмесителей непрерывного действия с принудительным перемешиванием* мощность силовой установки складывается из мощности, затрачиваемой на вращение вала с лопастями $N_{вр}$, и мощности, необходимой для транспортирования смеси $N_{тр}$:

$$N = (N_{вр} + N_{тр}) / \eta_{пр}, \tag{5.21}$$

где $\eta_{пр}$ – КПД привода.

Мощность (кВт) *привода вращения вала с лопастями* можно рассчитать по формуле

$$N_{вр} = к_{сд} к_з b \cos\gamma (R_н^2 - R_в^2) \omega z / (2 \cdot 1000), \tag{5.22}$$

где $к_{сд}$ – коэффициент удельного сопротивления движению лопасти в смеси, Н/м^2,

$$к_{сд} = \begin{cases} 3{,}0 \cdot 10^4 & \text{– для пластичных смесей,} \\ 5{,}5 \cdot 10^4 & \text{– для жестких смесей;} \end{cases}$$

$к_з$ – коэффициент заполнения смесью барабана смесителя;

b – ширина лопасти, м;

γ – угол между плоскостью лопасти и осью вала;

$R_н$, $R_в$ – наружный и внутренний радиусы лопасти, м;

ω – угловая скорость вращения вала, рад/с;

z – число лопастей на валу.

Мощность (кВт), *необходимую для транспортирования смеси*, определяют по методике расчета винтовых конвейеров:

$$N_{тр} = к_{пер} \rho_с g L П_н / (3{,}6 \cdot 10^6), \tag{5.23}$$

где $к_{пер}$ – коэффициент сопротивления перемещению смеси, $к_{пер} = 4{,}0 \ldots 5{,}5$;

L – длина смесительной камеры, м;

$П_н$ – производительность смесителя непрерывного действия, м^3/ч .

Производительность (м^3/ч) *лопастных бетоносмесителей непрерывного действия*

$$П_н = 3600 к_в к_{зап} \frac{\pi D^2}{4} t n, \tag{5.24}$$

где $k_{зап}$ – коэффициент заполнения сечения корпуса смесителя, $к_{зап} = 05…0,6$;

D – диаметр окружности, описываемой лопастями, м;

t – шаг расположения лопастей, м;

n – частота вращения лопастного вала, об/с.

Для *бетоносмесителей непрерывного действия* число смесительных валов является определяющим фактором при оценке их параметров.

Основные характеристики *одновальных смесителей* можно определить, зная их главный параметр, т.е. объем готовой смеси, по следующим эмпирическим зависимостям:

$$m = 4{,}3V_{гс}^{0,98},\ N = 36V_{гс}^{1,05},\ L = 1{,}35V_{гс}^{0,35},\ R = 0{,}7V_{гс}^{0,4}, \qquad (5.25)$$

где m – масса смесителя, т;

$V_{гс}$ – объем готового замеса, м^3;

N – мощность двигателя, кВт;

L – длина корпуса, м;

R – радиус окружности, описываемой лопастями, м.

Для двухвальных лопастных смесителей мощность привода (кВт)

$$N_{дв} = (28...30)\frac{L}{d_л}n^{-0,3}d_л^{2,3}, \qquad (5.26)$$

где L – длина смесителя, м;

$d_л$ – диаметр лопасти, м;

n – частота вращения валов, об/мин.

Основные характеристики *двухвальных смесителей* также связаны с их главным параметром (объемом готовой смеси $V_{гс}$) эмпирическими зависимостями:

$$m = 5{,}1V_{гс}^{0,75},\ N = 34V_{гс}^{0,98},\ L = 1{,}55V_{гс}^{0,3},$$
$$a = 0{,}85V_{гс}^{0,3}, \qquad R = 0{,}55V_{гс}^{0,3}, \qquad (5.27)$$

где m – масса смесителя, т;

$V_{гс}$ – объем готового замеса, м^3;

N – мощность двигателя, кВт;

L – длина корпуса, м;

a – межосевое расстояние валов, м;

R – радиус окружности, описываемой лопастями, м.

5.3 Бетонные заводы и бетоносмесительные установки

Для приготовления больших объемов цементобетонных смесей применяют бетонные заводы. Их классифицируют по ряду основных п р и з н а к о в:

1) *по продолжительности действия* – стационарные, полустационарные (инвентарные) и передвижные заводы;

2*) по компоновке технологического оборудования* – башенные и партерные*;*

3) *по характеру работы* – циклического и непрерывного действия*;*

4) *по типу управления* – с местным, дистанционным и автоматизированным управлением;

5*) по типу технологического процесса* – с законченным, расчлененным и комбинированным технологическим циклом.

Продукцией заводов и установок с законченным циклом является готовая бетонная смесь, с расчлененным – сухая смесь, с комбинированным – как готовая, так и сухая смеси. Сухую смесь используют при большом удалении строительного объекта от смесительной установки.

Стационарные заводы большой производительности обеспечивают цементобетонной смесью крупные объекты дорожного, промышленного и гражданского строительства. Они рассчитаны на постоянную эксплуатацию на одном месте в течение длительного времени. Поэтому установки подключают к стационарным коммуникационным сетям (электрическим, газовым, водопроводным, канализационным и др.), а агрегаты монтируют на капитальных фундаментах. На таких заводах требуется большой запас компонентов, что обусловливает необходимость больших расходных складов щебня и песка. Они могут храниться на открытых складах, а также на складах бункерного типа. Цемент размещают в специальных хранилищах силосного типа. Для подачи материалов со склада в расходные бункеры используют ленточные конвейеры, которые располагают в траншеях под штабелями минеральных материалов и в наклонных галереях. Если заводы рассчитаны на круглогодичную работу, целесообразно использовать обогреваемые склады для предотвращения слеживания минеральных наполнителей (щебня, песка).

Инвентарные заводы рассчитаны на эксплуатацию на одном месте в течение 2–3 лет. У них достаточно большая производительность (до 240 $м^3$/ч), поэтому каркасную раму устанавливают на фундаменте. Как правило, их подключают к стационарным муниципальным сетям на временной основе. Агрегаты инвентарных бетоносмесительных установок объединяют в блоки, размеры которых вписываются в транспортные габариты. Их монтаж или демонтаж производят в течение нескольких смен.

В установках башенного типа технологическое оборудование располагают по вертикали, т.е. исходные компоненты смеси поднимают и подают в

расходные бункеры только один раз. Такие установки имеют значительную высоту (до 30 м), но небольшие размеры в плане. Дальнейшее продвижение материалов по отдельным операциям технологического цикла осуществляется под действием гравитационных сил. Завод с башенной компоновкой оборудования содержит следующие блоки: верхний распределительный, дозировочный, смесительный и раздаточный (рисунок 5.9).

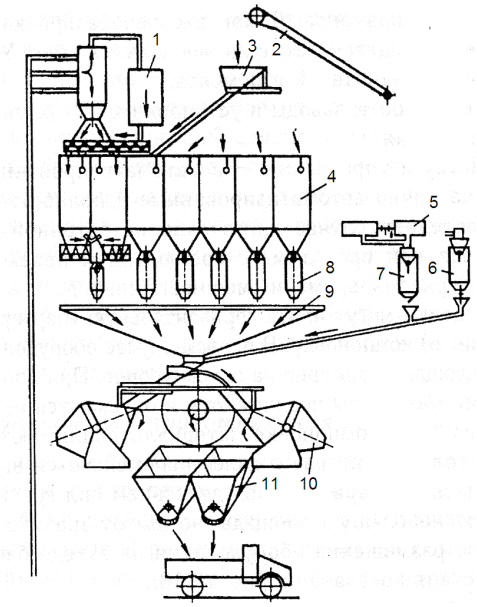


Рисунок 5.9 – Схема башенной компоновки оборудования бетонного завода:
1 – пневмотранспортная установка подачи цемента; 2 – ленточный конвейер подачи минеральных материалов; 3 – распределительное устройство; 4 – расходные бункеры для сухих компонентов; 5 – баки для воды; 6 – дозатор хлористого кальция; 7 – дозатор воды; 8 – дозаторы сухих компонентов; 9 – загрузочное устройство; 10 – бетоносмесители; 11 – раздаточный бункер

В установках партерного типа сухие компоненты смеси в ходе технологического процесса поднимаются дважды: сначала в расходные бункеры, затем в бетоносмеситель (рисунок 5.10). Поэтому их нередко называют двухступенчатыми. Эти установки имеют небольшую высоту, но большие площади для размещения оборудования.

Передвижные бетоносмесительные установки предназначены для рассредоточенных строительных объектов. Их агрегаты монтируют на прицепных или полуприцепных пневмоколесных шасси и комплектуют электростанцией, а также резервуарами и бункерами для воды и сухих компонентов смеси.

Как правило, это партерные мобильные установки с автоматизированным и дистанционным управлением. В зависимости от времени года их производительность меняется: при положительных температурах она достигает 12 т/ч, при отрицательных – не превышает 5 т/ч. В качестве примера можно привести передвижную бетоносмесительную установку циклического действия СБ-140А с роторным смесителем, который обеспечивает производительность до 12 м^3/ч. Установка имеет пневмоколесный ход, который включает заднюю ось и переднюю подкатную ось, оборудованную поворотным кругом, седельным устройством и дышлом (рисунок 5.11). Она состоит из двух блоков:

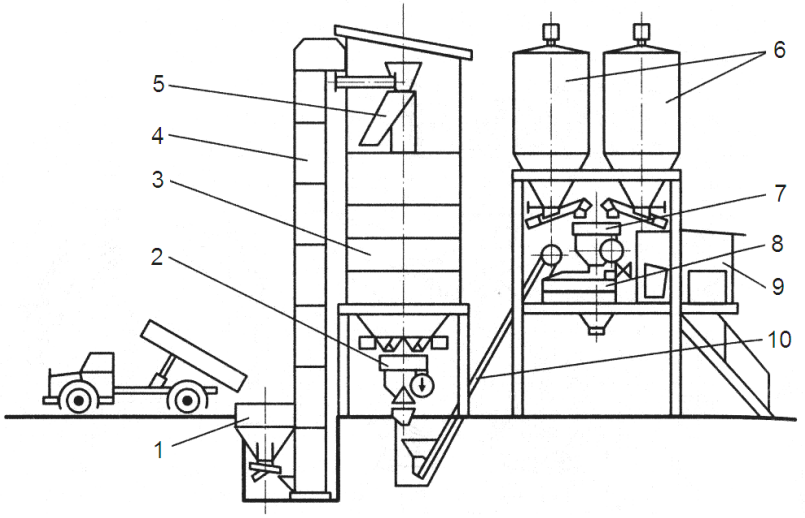


Рисунок 5.10 – Схема партерной компоновки оборудования бетонного завода:
1 – приемный бункер; 2 – дозатор песка и щебня; 3 – расходный бункер;
4 – многоковшовый конвейер; 5 – поворотная распределительная колонка;
6 – силосы цемента; 7 – дозатор цемента; 8 – бетоносмеситель; 9 – пульт управления;
10 – скиповый подъемник

1) основного, который объединяет основное технологическое оборудование (в том числе смеситель, весовые дозаторы воды, цемента и заполнителей, кабину оператора с пультом управления и навес), а также трехсекторный склад заполнителей вместимостью 25 м^3;

2) вспомогательного, который включает склад цемента (12 м^3), оборудованный бункером, винтовым конвейером, затвором, механизмом подъема бункера, фильтром и сводообрушителем.

Оба блока оборудованы подъемными устройствами для приведения их в рабочее или транспортное положение, что существенно ускоряет монтаж или демонтаж.

Система управления установки обеспечивает основной автоматический режим работы и ручной, который используют как наладочный.

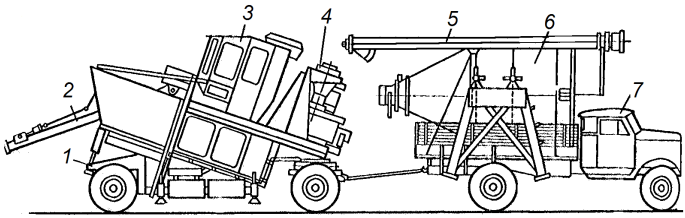


Рисунок 5.11 – Схема установки СБ-140А в транспортном положении:
1 – трейлер; 2 – скреперное загрузочное устройство; 3 – кабина управления; 4 – смеситель; 5 – винтовой конвейер; 6 – силос цемента; 7 – автомобиль

Представляют интерес модульные бетоносмесительные установки серии МБСУ производительностью от 20 до 60 м^3/ч (таблица 5.3), состоящие из блоков-контейнеров транспортных габаритов полной заводской готовности, в которых размещено все технологическое, санитарно-техническое и электротехническое оборудование. Модульная конструкция позволяет оперативно приводить установку в рабочее состояние и менять при необходимости блоки. Система управления выполнена на базе программируемых контроллеров и обеспечивает автоматический, полуавтоматический и ручной режим работы установки.

5.4 Автобетоносмесители

Автобетономесители относятся к гравитационным реверсивным бетоносмесителям циклического действия. Их классифицируют по следующим основным признакам:

1) *по назначению* – применяют в двух вариантах:

а) для транспортирования готовых бетонных смесей;

б) для приготовления бетонных смесей из отдозированных сухих компонентов в пути следования;

2) *по типу шасси* – на шасси грузовых автомобилей, специальных шасси автомобильного типа или на полуприцепах, агрегатируемых с тягачами;

3) *по виду разгрузки* – с задней и передней разгрузкой.

Как правило, подавляющее большинство автобетоносмесителей имеет заднюю разгрузку. Вместе с тем, машины с передней разгрузкой и задним расположением двигателя внутреннего сгорания имеют ряд достоинств. В их числе снижение эксплуатационных расходов за счет сокращения числа обслуживающего персонала, легкость управления и повышенная эффективность разгрузки бетонных смесей. В США фирма «Terex» с 2002 года производит выпуск автобетоносмесителей с передней разгрузкой нескольких типоразмеров – на трех-, четырех-, шести- и семиосном шасси различной грузоподъемности.

Таблица 5.3 – **Технические характеристики бетоносмесительных установок типа МБСУ**

Параметр	Модель				
	МБСУ-20	МБСУ-25СК	МБСУ-30.1 МБСУ-30.2	МБСУ-50С1	МБСУ-60.1 МБСУ-60.2
Загрузка заполнителей в бункере	Грейфером	Погрузчиком			
Загрузка заполнителей в бетоносмеситель	Скипом		Галерейная	Скипом	Галерейная
Производительность, $м^3$/ч	20-23	25	30	50	60
Число бункеров инертных материалов, шт.	3	4	4 или 8	8	4 или 8
Вместимость бункера инертных материалов, $м^3$	8	14	14	14	14
Число силосов, шт.	1	1	1	2	2
Вместимость силоса цемента, т	28	28	28	28	28
Установленная мощность, кВт	38	65	65	81	120
Тип бетоносмесителя	СБ-146А	СБ-138Б	СБ-138Б	СБ-138Б	СБ-138Б
Число бетоносмесителей, шт.	1	1	1	2	2
Объем по загрузке составляющими, л	750	1500	1500	1500	1500
Объем готового замеса, л:					
бетонной смеси	500	1000	1000	1000	10000
строительного раствора	650	1200	1200	1200	1200
Габаритные размеры, м:					
длина	24,5	28,0	42,0	21,5	42,0
ширина	4,4	4,2	14,8 или 28,0	7,7	14,8 или 28,0
высота	12,6	16,8	16,8	16,8	16,8
Число блоков, шт.	4	9	11 или 13	17	13 или 14
Число платформ для транспортировки, шт.	3	7	7 или 9	11	9 или 11

Автобетоносмесители традиционной компоновки (с задней разгрузкой) содержат шасси, на которое устанавливают рабочее оборудование. Оно включает раму, смесительный барабан с приводом его вращения и загрузочно-разгрузочным устройством, дозировочно-промывочный бак, водяной центробежный насос, систему управления и контрольно-измерительные приборы. Смесительный барабан, установленный под наклоном, имеет три точки опоры: в передней части он через цапфу опирается на главный опорный подшипник, а в задней через бандаж – на два опорных ролика. Привод вращения смесительного барабана может быть механическим (рисунок 5.12) с отбором мощности от автономного двигателя через систему механических передач, а также гидромеханическим (рисунок 5.13) с различными вариантами отбора мощности через гидростатическую передачу: от автономного двигателя, от двигателя базового шасси или от коробки отбора мощности трансмиссии шасси.

На рисунке 5.12 представлена кинематическая схема автобетоносмесителя с механическим приводом смесительного барабана. С помощью двух спиральных лопастей 11 решаются следующие задачи: при вращении барабана 9 в одном направлении они обеспечивают захват компонентов и их гравитационное смешивание; при обратном вращении барабана – подачу готовой смеси к приемному лотку для разгрузки. Привод вращения барабана состоит из дизельного двигателя 3, реверсивного трехступенчатого редуктора 5 и цепной передачи 6, ведомая звездочка 8 которой прикреплена к днищу барабана. Барабан спереди опирается на раму шасси цапфой 7, а сзади – бандажом 10 – на опорные ролики 12.

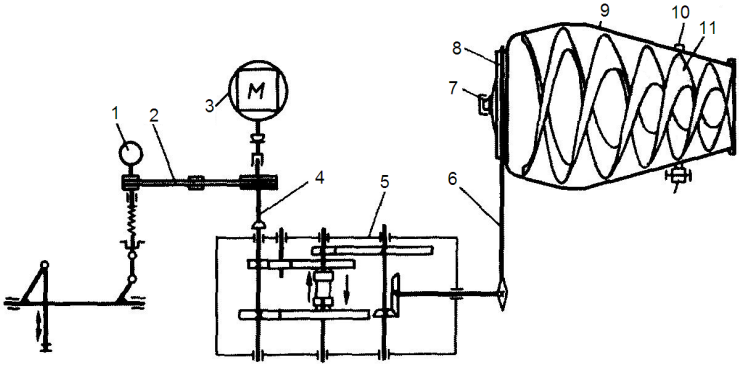


Рисунок 5.12 – Кинематическая схема автобетоносмесителя с механическим приводом барабана:

1 – центробежный насос для подачи воды; 2 – клиноременная передача; 3 – двигатель; 4 – карданный вал; 5 – реверсивный редуктор; 6 – цепная передача; 7 – центральная цапфа; 8 – ведомая звездочка цепной передачи; 9 – барабан; 10 – бандаж; 11 – спиральные лопасти

Привод обеспечивает две частоты вращения барабана в обе стороны при загрузке компонентов, их перемешивании и разгрузке готовой смеси. Система подачи воды состоит из бака, насоса, дозатора и насадка, направляющего струю воды внутрь барабана. Вода подается в барабан в момент приготовления смеси (после выгрузки барабан промывается). Необходимый объем воды подают в барабан из дозировочно-промывочного бака центробежным насосом 1 через сопло в загрузочной воронке. Приводят насос от двигателя 3 через карданный вал 4 и клиноременную передачу 2.

Автобетоносмесители с гидравлическим приводом (см. рисунок 5.13) имеют возможность бесступенчатого регулирования частоты вращения смесительного барабана в диапазоне от 0 до 20 мин$^{-1}$. В этом случае привод барабана осуществляют через планетарный редуктор от гидромотора и регулируемого гидронасоса, который получает вращение от коробки отбора мощности через карданный вал.

Технологическое оборудование автобетоносмесителей, выпускаемых в СНГ, максимально унифицировано. Они способны эксплуатироваться при температуре окружающей среды от – 30 до + 40 ^{o} С.

В Беларуси автобетоносмесители различных типоразмеров выпускает Могилевский автозавод на базе шасси МАЗ и МЗКТ. Их технические характеристики представлены в таблице 5.4. Типоразмерный ряд включает четыре типоразмера (с вместимостью смесительного барабана от 4 до 10 м^3).

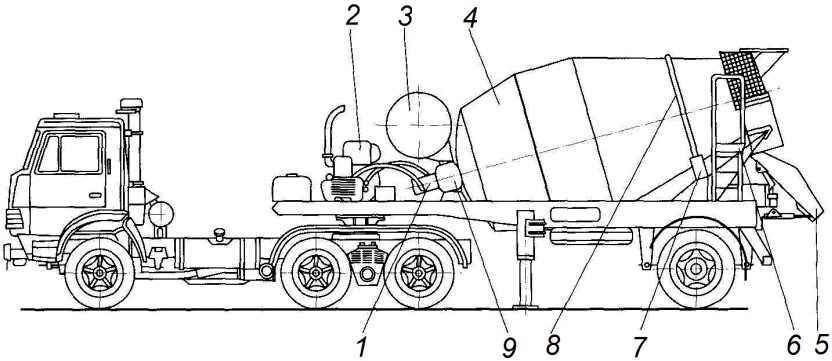


Рисунок 5.13 – Схема автобетоносмесителя с гидроприводом смесительного барабана:

1 – цапфа барабана; 2 – двигатель привода барбана; 3 – дозировочно-промывочный бак для воды; 4 – барабан; 5 – направляющий лоток для разгрузки; 6 –лестница для обслуживания; 7 – опорный ролик; 8 – бандаж; 9 – гидромотор привода барабана

Таблица 5.4 – **Технические характеристики автобетоносмесителей МоАЗ**

Параметр	Модель					
	СМБ349	СМБ370	СМБ060А	СМБ372	МоАЗ- 69000	МоАЗ- 69010
Базовое транспортное средство	МАЗ- 5337А2	МАЗ-303Л 5	МАЗ- 938020	МАЗ- 6303А5	МАЗ- 6303А5	МЗКТ-692371
Мощность, кВт	32	44	46	46	56	63
Вместимость барабана, $м^3$	4	6	6	6	7	10
Частота вращения смесительного барабана, $мин^{-1}$	0–18	0–18	0–16	0–16	0–16	0–16
Вместимость бака для воды, л	400	600	600	600	600	600
Высота, мм: загрузки выгрузки	3500 2170	3700 2370	3800 2470	3800 2370	3800 2370	3900 2370
Автономный двигатель	–	–	Д-243	Д-243	Д-243	Д-243
Масса, кг: эксплуатационная полная	9000 16000	12800 24000	7000 17000	13500 24700	13500 24700	18730 39650

Примечание – Привод смесительного барабана для всех моделей – гидромеханический, время приготовления смесей не более 20 мин; скорость выгрузки смеси не менее 1 $м^3$/мин.

Первый автобетоносмеситель (модели СМБ349А) на базе двухосного шасси МАЗ-53373 был изготовлен в 1993 году. Его отличает простота исполнения, надежность основных систем, хорошая маневренность. Специальное шасси имеет усиленную рессорную подвеску, стабилизатор поперечной устойчивости и центральный редуктор отбора мощности, позволяющий производить максимальный отбор мощности на стоянке (100 %) и до 25 % – при движении. Небольшая вместимость смесительного барабана (4 м^3) обеспечивает наибольшую эффективность на объектах с малым объемом бетонных работ.

Следующий типоразмер (6 м^3) был выполнен для двух вариантов привода, что обеспечивает расширение его технологических возможностей:

1) на базе трехосного шасси МАЗ-63035 с отбором мощности на вращение барабана от его двигателя (СМБ370) и от автономного двигателя Д-243 (СМБ372);

2) для одноосного полуприцепа с приводом от автономного двигателя Д-243 с двухосным седельным тягачом МАЗ.

Преимуществом схемы с автономным двигателем является возможность поддержания постоянной и достаточно высокой скорости вращения барабана независимо от профиля дороги и скорости движения машины.

В последующих разработках производитель учел экологические требования, предъявляемые в Евросоюзе к силовым установкам. В частности, автобетоносмеситель МоАЗ-69000 на базе шасси МАЗ-6303А5 отвечает нормам Евро-3. Он также имеет автономный привод барабана, который включает двигатель Д-243, гидрообъемную передачу и планетарный редуктор. Последней разработкой, завершающей на данный момент типоразмерный ряд автобетоносмесителей, является МоАЗ-69010 с барабаном вместимостью 10 м^3 и автономным двигателем Д-243 на базе шасси МЗКТ-692371.

Расчет основных параметров смесительных устройств, установленных на автобетоносмесителях, выполняют по приведенным в этом разделе формулам. Тяговый расчет, расчет баланса мощности осуществляют по известным методикам, приведенным ранее.

Основные направления развития бетоносмесительной техники. Бетоносмесители совершенствуются в следующих направлениях:

1) расширение технологических возможностей смесительного оборудования за счет переработки различных по составу компонентов и по технологическим характеристикам материалов;

2) комплексная автоматизация смесительного оборудования и технологического процесса приготовления смесей;

3) разработка многофункциональных агрегатов, совмещающих смесительное оборудование с другим технологическим оборудованием, например, с бетононасосами.

6 МАШИНЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

6.1 Особенности технологических процессов

Цементобетонные (ЦБ) покрытия также используют на автомобильных дорогах и аэродромах. Они имеют ряд достоинств:

1) высокую прочность в любое время года;

2) длительный межремонтный срок (30–40 лет);

3) высокий коэффициент сцепления с колесами (независимо от влажности покрытия);

4) повышенную безопасность при езде (из-за светлого цвета);

5) малую скорость изнашивания – менее 0,1–0,2 мм/год.

К недостаткам следует отнести:

1) большую (по сравнению с покрытиями на основе органических вяжущих веществ) продолжительность строительства (в том числе из-за довольно длительного времени отверждения цемента);

2) низкие эксплуатационные характеристики из-за поперечных швов;

3) сложность ремонта и восстановления.

Имеется два основных варианта использования ЦБ слоев: во-первых, в качестве покрытий; во-вторых, в качестве оснований для АБ покрытий на дорогах с интенсивным и тяжелым движением.

В свою очередь, ЦБ покрытия могут быть двух типов:

– в виде монолитной сплошной плиты, разделенной на участки одинаковой или различной длины швами расширения (деформационными швами);

– в виде сборного покрытия из предварительно изготовленных плит.

Эксплуатационно-технические характеристики ЦБ покрытий зависят от качества подготовки основания. Его формируют из щебня, гравия и укрепленного грунта, а затем на уплотненное и спрофилированное основание укладывают выравнивающий слой песка толщиной 2–5 см. При устройстве покрытий все операции (укладка и уплотнение смеси, формирование швов, отделка поверхности покрытия и др.) заканчивают за 1–2 часа до начала схватывания смеси. ЦБ покрытия должны иметь толщину, одинаковую по длине и ширине укладываемого участка, если не оговорены специальные требования. Выбор количества слоев и толщины покрытия обусловлен кате-

горией дороги: для I категории – 22, для II – 20, для III – 18 см. Двухслойные покрытия применяют в тех случаях, когда можно использовать в нижнем слое менее прочные каменные материалы, чем в рабочем слое. В двухслойных покрытиях толщина верхнего слоя составляет более 6 см. Для усиления прочностных свойств и повышения долговечности ЦБ покрытия армируют металлическими сетками или стержнями, плотность которых составляет 2–5 кг на 1 м^2 покрытия.

ЦБ покрытия сооружают с использованием комплектов или комплексов машин, состав которых зависит от свойств цементобетонной смеси и требований к укладываемому слою. Основой таких комплексов являются бетоноукладочные машины на гусеничном ходу со скользящей опалубкой. Их применение значительно упрощает организацию работ и снижает их трудоемкость. Каждая из машин выполняет одну или несколько технологических операций, обеспечивающих заданное качество сооружаемому покрытию. В числе этих работ профилирование грунтового основания для придания ему заданных продольного и поперечного профилей, качественная укладка ЦБ смеси (с погружением арматуры, если это предусмотрено), формирование слоя покрытия заданной толщины и отделка его поверхности. Ровность покрытий обеспечивается автоматическими следящими системами, контролем жесткости и подвижности поступающей смеси, а также соблюдением правил по ее укладке и уплотнению.

6.2 Укладчики цементобетонных покрытий и сопутствующие машины

Основными машинами для устройства ЦБ покрытий являются *бетоноукладчики*, которые предназначены для распределения смеси по дорожному основанию, ее укладки и уплотнения, а также профилирования и отделки поверхности слоя. Их можно классифицировать по следующим основным признакам:

1) *по принципу перемещения* – самоходные и прицепные;

2) *по типу опалубки* – со стационарной (рельс-формы) и скользящей опалубкой;

3) *по ходовому оборудованию* – двух-, трех- и четырехгусеничные;

4) *по производительности* – легкие, средние и тяжелые;

5) *по виду работ* – для устройства покрытий, изготовления профилей и формирования оснований;

6) *по степени универсальности* – специализированные (для ЦБ смесей) и универсальные (для ЦБ и АБ смесей);

7) *по степени автоматизации* – полуавтоматические и автоматизированные;

8) *по назначению (комплектации)* различают комплексы и комплекты машин на основе бетоноукладчика для устройства капитальных и облегченных дорожных одежд.

В середине прошлого века преобладало использование *колесно-рельсовых машин* для устройства ЦБ покрытий. Они передвигались по *специальным рельс-формам*, которые одновременно служили *стационарной (неподвижной) опалубкой* для бетонной смеси. Но они имели значительные недостатки: большую трудоёмкость монтажа-демонтажа и перевозки рельс-форм и небольшую (250–500 м в смену) производительность процесса укладки бетона.

Необходимость увеличения темпов строительства автодорог и аэродромов привела к созданию *безрельсовых бетоноукладочных машин*, *оснащенных боковой опалубкой*, которую называют *скользящими формами*, с высокой производительностью (250–4500 м в смену). Эти машины передвигаются по дорожному основанию, а формирование покрытия происходит между скользящими формами, укреплёнными на машине (т. е. формы перемещаются вместе с машиной).

В зависимости от ширины полосы и категории дороги бетоноукладчики оснащают различным гусеничным оборудованием. Для строительства дорог III–IV категорий используют, как правило, *двухгусеничные*, для дорог I–II категорий – *трех*- или *четырехгусеничные машины*. Например, предприятием «Брянский Арсенал» освоен выпуск самоходных двухгусеничных бетоноукладчиков (ДС-169), которые при мощности двигателя 125 кВт производят укладку полосы покрытия шириной 4,5–7,5 м при толщине слоя 160–240 мм. Почти половина укладчиков, выпускаемых ведущими производителями, имеет резиногусеничный ход. Резиновые гусеницы обладают преимуществами в транспортной скорости и затратах на обслуживание по сравнению с традиционными гусеничными системами.

Бетоноукладчики со скользящими формами обеспечивают *формирование как покрытий*, так и *различных монолитных профилей* (водосточных каналов и желобов, боковых полос, направляющих стенок и ограждений дорог и др.). Для качественной укладки и армирования ЦБ смеси эти машины оснащают набором рабочих органов, в том числе шнековыми распределителями и щитами для равномерного распределения бетона, поперечными вибробрусами и продольными выглаживателями, а также устройствами для введения армирующих элементов (дюбелей, анкеров и др.). Боковые скользящие формы обеспечивают формование соответствующего профиля. Для повышения эффективности дорожных работ производители дорожных машин предлагают бетоноукладчики, *типоразмерный ряд* которых охватывает диапазон ширины укладываемой полосы от 1 до 16 м. В таблице 6.1 представлены характеристики машин, которые выпускает фирма «Wirtgen».

Легкие бетоноукладчики (малой производительности) используют для укладки покрытий шириной до 2,5 м и устройства монолитных профилей (желобов, стенок каналов, бортов и др.). Для решения этих задач боковые элементы скользящей опалубки могут быть подвешены как между гусениц,

так и сбоку со смещением по методу «оффсет» (от. англ «*offset*» – смещение, отклонение) относительно продольной оси машины. Такие бетоноукладчики малых размеров применяют в основном для формования различных монолитных профилей, что существенно повышает производительность и сниает трудозатраты по сравнению с производством этих работ вручную.

Таблица 6.1 – **Технические характеристики гусеничных бетоноукладчиков**

Модель	Ширина*, м	Толщина, мм	Масса, т	Тележка, шт.	Мощность, кВт
SP 250	1,0/2,5	300	12/16	3	79
SP 500	2,0/6,0	400	12/40	3 (или 4)	133
SP 850	2,5/9,0	450	29/44	4	186
SP 1500 L	5,00/15,25	450	107	4	272–272
SP 1600	5,0/16,0	500	57/135	4	300
* Первая цифра – стандартная ширина укладки, вторая – ширина с модульными уширителями.					

Машины средней производительности применяют для укладки покрытий шириной от 2,5 до 9 м и строительства крупных монолитных профилей, в частности, с их помощью можно бетонировать каналы шириной до 3 м и глубиной до 2 м. Скользящая опалубка этих машин также имеет два варианта своего расположения относительно ходовой системы: 1) между гусениц; 2) со смещением относительно продольной оси машины. Кроме того, их рабочие органы позволяют укладывать покрытия с плавно регулируемой в процессе укладки стандартной шириной в диапазоне от 3 до 6 м. Помимо этого, их оснащение уширителями увеличивает ширину обрабатываемой полосы укладки до 9 м.

Тяжелые укладчики большой производительности (типа SP 1500L и SP 1600) обеспечивают создание покрытий шириной до 16 м, в том числе двухслойных покрытий за один проход. В частности, модель SP 1500 L, состоящая из двух независимых друг от друга машин, позволяет оперативно формировать одно- или двухслойные покрытия.

Современные бетоноукладчики имеют, как правило, модульную конструкцию, что обеспечивает их быструю переналадку в зависимости от поставленной задачи: укладки покрытия заданной ширины или формирования профиля требуемой формы, с введением армирующих элементов или без них. Машины всех типоразмеров снабжены уширителями (раздвижными или приставными), существенно увеличивающими их технологические возможности. На рисунке 6.1 представлены принципиальные схемы бетоноукладчиков различной производительности. Как правило, машины малой и средней производительности являются комбинированными, что позволяет их использовать для изготовления как покрытий, так и различных монолитных профилей. Широкий набор различных рабочих органов и специальных

приспособлений дает возможность решать многочисленные задачи дорожного строительства.

Вместе с тем, в последние годы наметилась тенденция по созданию укладчиков с универсальными возможностями, которые можно эффективно использовать на двух основных видах дорожных работ:

1) при сооружении автомагистралей, качество которых должно отвечать жестким требованиям стандартов по ровности и другим технико-эксплуатационным характеристикам;

2) при устройстве дорог с низкопрофильными характеристиками.

Для этих работ в наибольшей степени подходят укладчики средней мощности (производительности), снабженные телескопическими уширителями.

Ведущие производители машин для дорожных работ разрабатывают агрегаты, позволяющие с минимальной перенастройкой использовать укладчики как для цементобетонных, так и для асфальтобетонных смесей. В частности, фирма «Vogele» предлагает укладчики Super 2500, которые способны укладывать щебень, цементобетон и асфальтобетон.

Как правило, *бетоноукладчик является основной машиной* комплексов или комплектов, включающих сопутствующие машины. Состав комплекса выбирают в зависимости от категории дороги, рецептуры смеси и технологии устройства покрытий, конструкции основания и самого покрытия (армированного или неармированного).

Строительство автомобильных дорог с ЦБ покрытием предусматривает профилирование земляного полотна, устройство основания, укладку смеси, формирование и отделку покрытия. Для реализации этих операций необходим набор сопутствующих укладчику машин.

При строительстве оснований дорог и аэродромов для планировки и профилирования поверхности грунта используют *бульдозеры, автогрейдеры* или *специальные профилировщики*. Для обеспечения ровности поверхности (в поперечном и продольном направлениях, а также по курсу движения машины) бульдозеры и автогрейдеры снабжают автоматическими системами управления рабочими органами. В ряде случаев для этих целей используют *профилировщики*, которые могут иметь как *пассивные (отвалы, щиты* и др.), так и *активные (фрезы, шнеки*) рабочие органы. Фрезы фрезеруют, рыхлят и распределяют грунт по ширине на начальной стадии процесса. Отвалы, располагающиеся за фрезами, профилируют основание и перемещают излишки грунта по ширине полосы. Шнеки удаляют эти излишки на обочину и перераспределяют грунт по ширине. И, наконец, отвалы, установленные за шнеками, производят окончательную планировку грунта.

При строительстве укрепленных оснований планирование и профилирование совмещают со смешением грунта с вяжущими веществами. Поэтому *профилировщик*, помимо своих основных функций, выполняет роль *грунтосмесительной машины.*

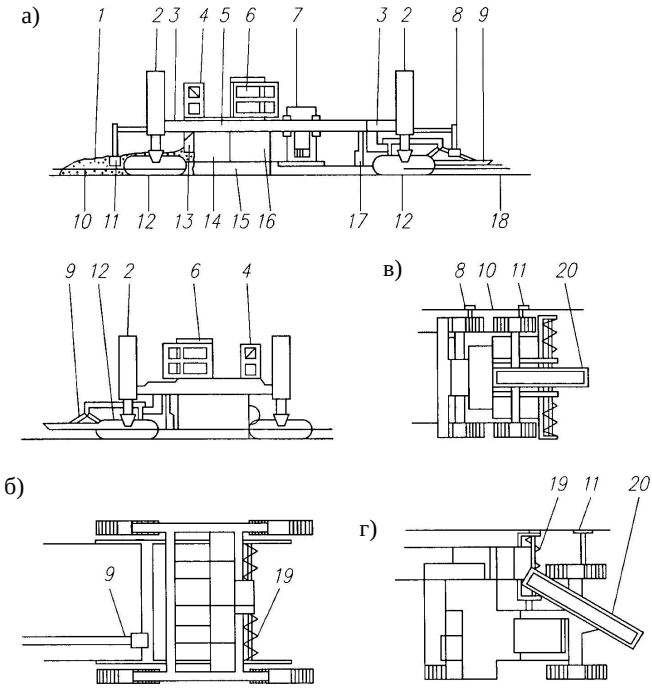


Рисунок 6.1 – Схемы бетоноукладчиков со скользящими формами:
а – большой; *б* – средней; *в, г* – малой производительности (*в* – для укладки покрытия и профиля, *г* – для укладки профиля):
1 – ЦБ смесь; 2 – гидроцилиндр регулировки по высоте; 3 – поворотная консоль крепления гусеничной тележки; 4 – пульт управления; 5 – основная рама; 6 – силовая установка; 7 – устройство для погружения арматуры; 8, 11 – задний и передний датчики (щупы) автоматической системы задания координат; 9 – продольная выглаживающая плита; 10 – копирная струна; 12 – гусеничная тележка; 13 – мечеобразный распределитель; 14 – вибратор; 15 – передняя стенка-щит; 16 – боковая скользящая форма; 17 – поперечный выглаживающий вибробрус; 18 – ЦБ покрытие; 19 – распределительный шнек; 20 – ленточный конвейер-питатель

В этом случае к нему в комплект добавляют цементовоз-распределитель (для дозированного распределения порошкообразного цемента на полотне дороги). Например, для распределения цемента применяют цементовоз-распределитель ДС-72 на базе колесного трактора Т-158 и профилировщик-грунтосмеситель ДС-178. Рабочее оборудование профилировщика включает фрезерный ротор с режущими зубьями и лопатками для профилирования и смешения грунта с порошкообразным цементом непосредственно на по-

лотне дороги, распределительный шнек, систему подачи воды в зону смешения и виброплиту с вибраторами направленных колебаний для уплотнения смеси.

При строительстве ЦБ покрытий ведущие производители укладочных машин для качественной укладки смеси на подготовленное дорожное основание используют комплекс основных машин, который состоит из *бетонораспределителя, бетоноукладчика со скользящими формами* и *бетоноотделочной машины*. Например, фирма «Wirtgen» для бетоноукладчиков, представленных в таблице 6.1, выпускает бетонораспределитель с боковой загрузкой смеси, имеющий производительность до 200 м/ч при рабочей ширине от 2,5 до 9,0 м, и бетоноотделочные машины (финишеры ТСМ 850 и МТС 1600), которые обеспечивают с помощью специальных устройств поверхностную обработку уложенного бетоноукладчиком полотна при его ширине до 9,5 и до 16,0 м соответственно.

Бетонораспределители, принимающие и распределяющие смесь, могут быть *бункерными* и *безбункерными*. *Бункерные распределители* являются машинами циклического действия. Смесь поступает из бункера порциями и распределяется по основанию дороги, для чего используют шнеки, фрезы и отвалы. *Безбункерные (шнековые, лопастные и ковшовые) распределители* – это машины непрерывного действия, которые используют для более масштабных работ. Они равномерно распределяют в поперечном направлении смесь, поступающую непосредственно на подготовленное основание дороги, с помощью шнека, лопасти или ковша и предварительно разравнивают отвалом. Профилирование уложенного слоя смеси производят специальными профилирующими заслонками, с помощью которых можно установить одно- или двухскатный профиль покрытия.

Бетоноотделочные машины (финишеры) производят окончательное разравнивание, профилирование, уплотнение и отделку поверхности покрытия для придания необходимой шероховатости, а также формирование деформационных швов и нанесение на покрытие плёнкообразующих материалов. Различают гусеничные и пневмоколесные финишеры.

Весь спектр дорожных работ по устройству ЦБ покрытий осуществляется комплектами специализированных машин, базовой машиной которых является бетоноукладчик со скользящей опалубкой. Такие комплекты в свое время были использованы в СССР для строительства магистральных дорог и аэродромов. ОАО «Брянский Арсенал» изготовил около 30 комплектов машин ДС-110 и оснастил ими крупные дорожно-строительные организации. Одной из наиболее значимых работ комплекта было строительство магистральной автомобильной дороги Брест – Москва. В состав комплекта входят *три гусеничные машины (профилировщик, распределитель бетона и бетоноукладчик*), а также *две машины на пневмоколёсном ходу (трубчатый финишер и машина для нанесения плёнкообразующих веществ).*

Конструктивным достоинством гусеничных машин комплекта является высокий уровень их унификации, в том числе базовых рам, силовых установок, ходовых систем (за счет применения одинакового четырехопорного гусеничного шасси), приводов хода и рабочих органов, гидросистем и электрооборудования, а также автоматических следящих систем управления рабочими органами по заданному курсу и профилю. Рабочее оборудование этих машин монтируется на четырехопорном гусеничном шасси (рисунок 6.2) с гидрообъемным приводом хода.

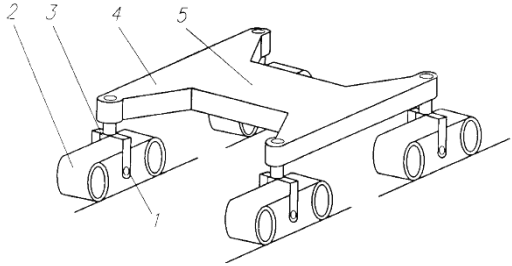


Рисунок 6.2 – Схема гусеничного шасси для комплекта машин для устройства ЦБ покрытий:
1 – вилка крепления тележки;
2 – гусеничная тележка;
3 – гидроцилиндр;4 – консольная опора шасси; 5 – рама

В состав дополнительного оборудования входят: навесной конвейер-перегружатель; прицепная арматурная тележка; полунавесной вибропогружатель арматурной сетки; асфальтоукладочное оборудование (полунавесной бункер и навесная виброплита); нарезчик швов; заливщик швов; трейлеры с тягачами для перевозки машин комплекта.

Профилировщик оснований комплекта в зависимости от типа грунта оснащают различными профилирующими рабочими органами. *По типу рабочего органа* различают *шнековые, фрезерные и ножевые профилировщики,* которые снабжают отвалами. *Шнеком с разравнивающим отвалом* профилируют песчаные основания, *фрезой с разравнивающим отвалом* – укрепленные грунты, а *отвалом с профилирующим ножом* – суглинки. Мощность его силовой установки составляет 368 кВт при ширине полосы профилирования 8,5–10,0 м.

Бетонораспределитель комплекта обеспечивает прием смеси из автосамосвалов (или автобетоносмесителей) и ее распределение по дорожному основанию слоем необходимой толщины. Приём смеси осуществляют из самосвалов на *выдвигающийся в сторону обочины конвейер*, нижняя часть которого образует дно приемного бункера. После разгрузки порции смеси из самосвала в бункер лента конвейера транспортирует ее на дорожное полотно и укладывает перед рабочими органами. Затем *рабочие органы (шнек-фреза и отвал),* состоящие из двух половин, осуществляют первоначальное распределение и планирование бетонной смеси. Машина имеет мощность двигателя 221 кВт при ширине полосы распределения 7,5 м.

Бетоноукладчик комплекта со скользящими формами имеет набор рабочих органов, в том числе *шнек* и *отвал шнека*, *глубинные вибраторы, качающиеся отделочные брусья* и *плавающую выглаживающую плиту*. На рисунке 6.3 представлена принципиальная схема этих рабочих органов. *Распределительный шнек* состоит из двух частей с независимым приводом. *Отвал плоской формы* обеспечивает подпор смеси в шнеке. *Глубинные вибраторы* равномерно уплотняют смесь по всему объему за счет ненаправленных колебаний (с частотой 180 Гц). *Брус-дозатор*, состоящий из двух частей, выравнивает и дозирует смесь за счет вертикальных колебаний (с частотой 50 Гц). *Два бруса, качающиеся в поперечном направлении* с частотой 4 Гц (они также состоят из двух частей), придают покрытию необходимый профиль и осуществляют первичную отделку покрытия. *Плавающая плита* производит окончательную отделку покрытия, заполняя и выглаживая швы, остающиеся на поверхности после прохода брусьев. Она также состоит из двух частей и управляется с помощью гидроцилиндров. *Боковые скользящие формы* удерживают смесь в пределах рабочей зоны и образуют первоначальную кромку слоя покрытия. Мощность двигателя составляет 221 кВт при ширине рабочих органов 7,5 м.

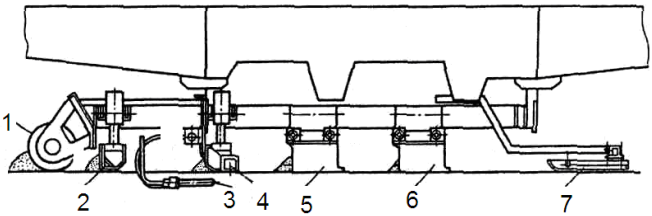


Рисунок 6.3 – Схема расположения рабочих органов на бетоноукладчике:
1 – шнек; 2 – отвал шнека; 3 – глубинный вибратор; 4 – виброброс-дозатор;
5, 6 – качающиеся брусья; 7 – выглаживающая плита

За гусеничными машинами следуют колесные самоходные машины, которые выпоняют отделочные, пленкообразующие работы и отделку швов.

Бетоноотделочная машина (трубчатый финишер) комплекта выполняет окончательную отделку поверхности покрытий, включая выравнивание профиля покрытия и придания ей требуемой текстуры. Многопроходная машина смонтирована на четырёхколёсном базовом шасси. Ее основным рабочим органом является выглаживающая труба, состоящая из двух шарнирно соединенных половин (для отделки двухскатных покрытий) и снабженная системой водяного орошения (для увлажнения обрабатываемой поверхности). При последнем проходе машины на полотно дороги опускается *брезентовая драга*, орошаемая водой, которая придаёт покрытию требуемую текстуру (степень шероховатости). Мощность двигателя – 36,8 кВт.

Распределитель плёнкообразующих материалов предназначен для окончательного текстурирования и нанесения плёнкообразующей жидкости (битумной или водно-битумной эмульсии) на покрытие. Это однопроходная машина на четырёхколёсном шасси, имеющая *распылительное устройство* в виде поперечной трубы *с разбрызгивающими соплами-форсунками, щёткой* для нанесения шероховатости и *барабаном с полиэтиленовой плёнкой* для защиты от дождя. Мощность силовой установки – 36,8 кВт.

Самоходный колесный нарезчик швов нарезает продольные и поперечные швы в свежеуложенном покрытии. Его оснащают в*ибронож*ом для нарезки поперечных швов и *вибродиском* для нарезки продольных швов с гидравлическим управлением их положения. В задней части машины устанавливают *заливщик швов,* который обеспечивает при помощи гидронасоса заливку образованных прорезей в бетоне мастикой или герметиком заданного состава.

В связи с сокращением объемов строительства цементобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов в СНГ рассмотренный комплект машин (ДС-110) в нынешнем веке оказался мало востребованным, несмотря на многие достоинства. Такая же участь постигла бетоноукладчик со скользящими формами ДС-169, который при мощности двигателя 125 кВт обеспечивал ширину укладки смеси от 4,5 до 7,5 м.

Для строительства автомобильных дорог местного значения применяют комплект, состоящий из двух машин – профилировщика и грунтосмесительной машины, которые являются полуприцепными к колёсным тракторам. Они имеют гидравлическую систему управления рабочими органами и оснащены автоматической следящей системой. Их производительность составляет 240 м/ч при ширине полосы 3,3 м.

Совершенствование технологии устройства дорог с ЦБ покрытием развивается в направлении сокращения числа специализированных машин за счет их универсализации, включая оснащение разнообразными рабочими органами. Ведущие производители дорожной техники выпускают комплекты машин для устройства ЦБ покрытий, которые включают профилировщик, распределитель смеси и бетоноукладчик. Их укомплектовывают различными наборами рабочих органов в зависимости от типоразмера и технологии дорожных работ.

В ряде случаев для устройства ЦБ покрытий используют асфальтоукладчики, оснащенные специальным дополнительным оборудованием.

Расчеты основных параметров машин для устройства ЦБ покрытий.

Расчеты рабочих органов машин базируются на решении уравнения тягового баланса. Как правило, при оценке сил сопротивления их передвижению учитывают две группы факторов.

К первой группе относятся сопротивления, не связанные с особенностями их рабочих органов, а именно – силы сопротивления передвижению машины как

тележки и инерционные сопротивления, ко второй – силы, обусловленные спецификой рабочих органов. В их числе сопротивления резанию шнеком и фрезой, сопротивления перемещению призмы волочения материала перед отвалами, щитами и брусьями, а также силы трения, возникающие при перемещении брусьев и плит. В расчетах учитывают наиболее значимые силы сопротивления.

Для гусеничного профилировщика, оснащенного фрезой и отвалом фрезы, общая сила сопротивления передвижению в процессе работы включает следующие составляющие, которые следует учитывать в инженерных расчетах: $W_{\text{пер}}$ – сопротивление перемещению машины; $W_{\text{рез}}$ – сопротивление резанию грунта фрезой; $W_{\text{пр}}$ – сопротивление перемещению призмы волочения материала перед отвалом; W_i – сопротивление от преодоления сил инерции машины.

Сила сопротивления перемещению машины (Н)

$$W_{\text{пер}} = (f + i)G_{\text{проф}}, \tag{6.1}$$

где f – коэффициент сопротивления перемещению машины;

i – продольный уклон пути;

$G_{\text{проф}}$ – сила тяжести машины, Н.

Сила сопротивления резанию грунта фрезой (Н)

$$W_{\text{рез}} = k_{\text{р}} sbz_{л}, \tag{6.2}$$

где $k_{\text{р}}$ – удельное сопротивление фрезерованию грунта, $k_{\text{р}}$ = 0,7…2,5 Н/м^2;

s – толщина срезаемой стружки, м;

b – ширина лопасти, м;

$z_л$ – число лопастей, одновременно участвующих в процессе фрезерования,

$$z_л = z\alpha / 360,$$

z – число лопастей на роторе;

α – угол контакта лопасти с материалом, град, $\alpha = \text{arctg}(h / r)$,

r – радиус ротора, м;

h – толщина срезаемого слоя, м.

Сила сопротивления перемещению призмы материала (Н) перед отвалом

$$W_{\text{пр}} = \mu_1 G_{\text{пр}}, \tag{6.3}$$

где μ_1 – коэффициент внутреннего трения грунта о грунт;

$G_{\text{пр}}$ – сила тяжести материала в призме, Н.

Сила сопротивления при преодолении сил инерции (Н) при трогании машины с места

$$W_i = \chi G_{\text{проф}} \upsilon / g t_{\text{р}}, \tag{6.4}$$

где χ – коэффициент, учитывающий вращающиеся массы;

υ – скорость рабочего процесса, м/с;

$t_{\text{р}}$ – время разгона до рабочей скорости, с.

Таким образом, *общая сила сопротивления передвижению профилировщика* в процессе работы выглядит следующим образом:

$$W = W_{\text{пер}} \pm W_{\text{р}}^{\text{гр}} + W_{\text{пр}} + W_i, \tag{6.5}$$

где $W_{\text{р}}^{\text{гр}}$ – горизонтальная составляющая сопротивления грунта резанию,

$$W_{\text{р}}^{\text{гр}} = W_{\text{р}} \upsilon_{\text{п}} / \upsilon_{\text{о}},$$

$\upsilon_{\text{п}}$ – поступательная скорость машины, м/с;

υ_0 – окружная скорость ротора, м/с;

(*плюс* означает резание снизу вверх, *минус* – сверху вниз).

Условие работоспособности профилировщика без пробуксовки следует проверить по уравнению тягового баланса:

$$\varphi_{\text{сц}} G_{\text{проф}} \geq W, \tag{6.6}$$

где $\varphi_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления гусениц с основанием.

Мощность силовой установки профилировщика $N_{\text{проф}}$ расходуется на резание грунта $N_{\text{р}}$, его отбрасывание фрезой $N_{\text{от}}$ и преодоление сопротивления при перемещении машины в процессе работы $N_{\text{пер}}$.

Мощность, расходуемая на резание грунта лопастями фрезы (кВт),

$$N_{\text{р}} = k_{\text{р}} bshzn/1000, \tag{6.7}$$

где z – число лопастей на роторе;

n – частота вращения фрезы, об/с.

Мощность (кВт), *расходуемая на отбрасывание грунта*,

$$N_{\text{от}} = \text{к}_{\text{от}} m \upsilon_{\text{о}}^2 / 2000, \tag{6.8}$$

где $к_{от}$ – коэффициент отбрасывания,

$$к_{от} = \begin{cases} 0{,}75 \text{ – для узких лопастей,} \\ 1{,}0 \text{ – для широких лопастей;} \end{cases}$$

m – масса грунта, отбрасываемого фрезой за единицу времени (одну секунду), кг,

$$m = \rho b h \upsilon_п ,$$

ρ – плотность материала основания, кг/м^3;

$\upsilon_п$ – поступательная скорость машины, м/с;

$\upsilon_о$ – окружная скорость на концах резцов фрезы, м/с.

Мощность (кВт), *расходуемая на перемещение профилировщика*,

$$N_{пер} = W_{проф} \upsilon_{max} / (1000 \eta_{тр}) , \qquad (6.9)$$

где υ_{max} – максимальная рабочая скорость профилировщика, м/с;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии ходовой системы.

Таким образом, *мощность силовой установки* (кВт)

$$N_{проф} = N_р + N_{от} + N_{пер} .$$

В зависимости от решаемой задачи баланс мощности можно использовать в двух вариантах: во-первых, для выбора силовой установки по рассчитанной мощности и, во-вторых, в качестве проверочного расчета.

Эксплуатационная производительность профилировщика (м^2/ч)

$$П_э = 3600 к_в B \upsilon_п , \qquad (6.10)$$

где $к_в$ – коэффициент использования рабочего времени, $к_в$ = 0,85;

B – ширина обрабатываемой полосы за один проход профилировщика, м.

Распределитель бетона периодического действия (боковой загрузчик) работает циклически. Цикл состоит из двух стадий: первая – разгрузка смеси из бункера, ее укладка и распределение по основанию; вторая – перемещение машины на новую позицию. Соответственно, баланс мощности следует рассматривать отдельно для первой и второй стадий процесса.

На первой стадии происходит перемещение бункера со смесью по направляющим в поперечном направлении, а также ее укладка и распределение по дорожному основанию. В общем случае сопротивлениями, возникающими при укладке и распределении смеси с помощью фрезы и отвала, можно пренебречь. На этой стадии учитывают только с*илу, необходимую для перемещения распределительного бункера*, которая включает следующие составляющие:

$$W_{пб} = P_{пр} + P_{пб} + P_i \,, \qquad (6.11)$$

где $P_{пр}$ – сила сопротивления перерезыванию столба бетонной смеси, Н;

$P_{пб}$ – сила сопротивления перемещению бункера по направляющим (рельсам или др.), Н;

P_i – сопротивление сил инерции при трогании с места бункера, Н.

В свою очередь, *сила сопротивления перерезыванию столба бетонной смеси* (Н)

$$P_{пр} = k_{пр} b \,, \qquad (6.12)$$

где $k_{пр}$ – коэффициент удельного сопротивления перерезыванию столба смеси, зависящий от ее вязкости, $k_{пр} = (6...9) \cdot 10^3$ Н/м .

Сила сопротивления перемещению груженого бункера по направляющим (Н)

$$P_{пб} = f_з \left(G_б + G_{см} \right), \qquad (6.13)$$

где $G_б$ и $G_{см}$ – силы тяжести бункера и смеси, находящейся в бункере, Н;

$f_З$ – коэффициент удельного сопротивления перемещению бункера по рельсам, $f_З$ = 0,05.

Сопротивление сил инерции при трогании с места груженого бункера (Н)

$$P_i = (G_б + G_{см}) \upsilon_б / (g t_р), \qquad (6.14)$$

где $\upsilon_б$ – скорость передвижения бункера со смесью по направляющим, м/с;

$t_р$ – время разгона до рабочей скорости $\upsilon_б$, с.

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

$$N_б = W_{пб} \upsilon_б / 1000 \eta_б \,, \qquad (6.15)$$

где $\eta_б$ – КПД привода перемещения распределительного бункера.

На второй стадии происходит передвижение машины на новую рабочую позицию. Общая сила сопротивлению перемещения машины $W_{рас}$ складывается из двух составляющих: $W_{пер}$ – сопротивления передвижению распределителя, W_i – сопротивления сил инерции при трогании с места машины, т.е.

$$W_{рас} = W_{пер} + W_i \,. \qquad (6.16)$$

Силу сопротивления передвижению распределителя (Н) оценивают по формуле

$$W_{\text{пер}} = (f + i)G_{\text{рас}}\,, \tag{6.17}$$

где $G_{\text{рас}}$ – сила тяжести распределителя, Н.

Сопротивление сил инерции (Н) *при трогании распределителя с места*

$$W_i = \chi G_{\text{рас}} \upsilon_{\text{рас}} / t_{\text{р}}\ , \tag{6.18}$$

где $\upsilon_{\text{рас}}$ – скорость передвижения распределителя, м/с;

$t_{\text{р}}$ – время разгона машины до скорости $\upsilon_{\text{рас}}$, $t_{\text{р}} = 0{,}5...1{,}5$ с.

Возможность передвижения распределителя без пробуксовки следует проверить по уравнению тягового баланса

$$\phi_{\text{сц}} G_{\text{рас}} \geq W_{\text{рас}}. \tag{6.19}$$

По известной общей силе сопротивления перемещению распределителя $W_{\text{рас}}$ находят мощность (кВт), необходимую для его перемещения,

$$N_{\text{рас}} = W_{\text{рас}} \upsilon_{\text{рас}} /(1000\eta_{\text{тр}})\,, \tag{6.20}$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии от двигателя до ходового оборудования.

Техническая производительность распределителя (м^3/с)

$$\Pi = q_{\text{рас}} / T\ , \tag{6.21}$$

где $q_{\text{рас}}$ – вместимость бункера, м^3;

T – продолжительность цикла, с,

$$T = t_1 + t_2 + t_3\,,$$

t_1 – время загрузки бункера, с;

t_2 – время распределения бетонной смеси и возврат бункера под загрузку, с;

t_3 – время, затрачиваемое на переход распределителя на следующую рабочую позицию, с.

Бетоноукладчик в качестве рабочих органов имеет шнек и отвал шнека, трамбующий брус, качающиеся брусья и выглаживающую плиту. В расчетах учитывают наиболее значимые сопротивления, а именно: силу сопро-

тивления передвижению машины $W_{пер}$, силу сопротивления распределению смеси шнеком $W_{рас}$, силу сопротивления перемещению призмы смеси $W_{пр}$, инерционное сопротивление W_i и силу трения рабочих органов по поверхности слоя смеси $W_{тр}$.

Таким образом, общая сила сопротивления

$$W_{бет} = W_{пер} + W_{рас} + W_{пр} + W_i + W_{тр}. \qquad (6.22)$$

Силу сопротивления передвижению бетоноукладчика (Н) определяют по приведенной ранее формуле

$$W_{пер} = (f + i)G_{бет}, \qquad (6.23)$$

где $G_{бет}$ – сила тяжести бетоноукладчика, Н.

Сила сопротивления распределению смеси (Н) с помощью шнека

$$W_{рас} = k_{см} s b z_{л}, \qquad (6.24)$$

где $k_{см}$ – коэффициент удельного сопротивления распределению смеси, Н/м^2;

s – толщина распределяемого слоя, м;

b – ширина лопасти шнека, м;

$z_{л}$ – число лопастей, одновременно участвующих в процессе распределения.

Силу сопротивления перемещению призмы смеси (Н), образующейся перед рабочим органом (отвалом шнека, уплотняющим и выглаживающим брусьями), определяют по формуле

$$W_{пр} = \mu_2 (g_р + g_у + g_в), \qquad (6.25)$$

где $g_р$, $g_у$, $g_в$ – силы тяжести смеси в призме волочения перед разравнивающим, уплотняющим и выглаживающим рабочими органами, Н;

μ_2 – коэффициент внутреннего трения бетонной смеси.

Сила трения рабочих органов (Н) при их перемещении по бетонной смеси

$$W_{тр} = \mu_3 (G_р + G_у + G_в), \qquad (6.26)$$

где $G_р$, $G_у$, $G_в$ – силы тяжести разравнивающего, уплотняющего и выглаживающего рабочего органа, Н;

μ_3 – коэффициент трения стали по слою бетонной смеси, $\mu_3 = 0{,}5$.

Силу инерционного сопротивления (Н), возникающего при трогании бетоноукладчика с места, определяют по формуле

$$W_i = G_{бет}\upsilon_р /(g t_р)\,, \qquad (6.27)$$

где $\upsilon_р$ – скорость рабочего перемещения, м/с;

$t_р$ – время разгона до скорости $\upsilon_р$, с.

Тяговое усилие необходимо проверить на возможность его реализации по условиям сцепления, т.е.

$$\varphi_{сц} G_{бет} \geq W_{бет}\,. \qquad (6.28)$$

Мощность силовой установки бетоноукладчика расходуется на передвижение машины $N_{пер}$, приводы рабочих органов $N_{раб}$ и вспомогательных механизмов $N_{всп}$.

Мощность (кВт), *расходуемую на передвижение машины*, определяют из выражения

$$N_{пер} = W_{пер}\upsilon_р /(1000\eta_{тр})\,, \qquad (6.29)$$

где $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии от двигателя до ходового оборудования.

Мощность привода рабочих органов зависит от их состава. В общем случае она расходуется на привод распределительного, уплотняющего, разравнивающего и выглаживающего рабочих органов с вибрационным воздействием на смесь.

Мощность (кВт), *необходимая для работы распределительных шнеков*,

$$N_ш = \alpha к_{сопр} П B g /(1000\eta_{шн})\,, \qquad (6.30)$$

где α – коэффициент, учитывающий долю смеси, перемещаемую шнеком;

$к_{сопр}$ – коэффициент сопротивления перемещению материала, $к_{сопр} = 3{,}2$;

П – производительность шнека, кг/с;

B – ширина полосы укладки, м;

$\eta_{шн}$ – КПД привода шнека.

Мощность (кВт) *привода уплотняющего вибробруса* определяют по эмпирической зависимости

$$N_{вб} = k_р F\,, \qquad (6.31)$$

где $k_р$ – удельный расход энергии, $k_р$ = (1,0…1,3) кВт/м^2;

F – площадь вибробруса, м^2.

Мощность (кВт) *привода трамбующего бруса* расходуется в основном на подъем бруса при вертикальных колебаниях и преодоление сил сопротивлений трения в цапфах приводного (дебалансного) вала

$$N_{тр} = (aG_{тбр} + \pi f Pd)n_{вер} /(1000\eta_{тбр}), \qquad (6.32)$$

где a – амплитуда вертикальных колебаний бруса, м;

$G_{тбр}$ – сила тяжести трамбующего бруса, Н;

f–коэффициент трения качения в опорах дебалансного вала, f = 0,005…0,010;

P – возмущающая сила возбудителя колебаний бруса, Н;

d – диаметр цапф дебалансного вала, м;

$n_{вер}$ – частота вертикальных колебаний бруса, Гц;

$\eta_{тбр}$ – КПД привода трамбующего бруса.

Мощность привода выглаживающего качающегося бруса затрачивается на совершение им поперечных колебаний, преодоление сил трения при взаимодействии бруса со смесью и сопротивление призмы смеси, образующейся перед брусом.

Суммарная сила (Н), *включающая трение и сопротивление призмы волочения*,

$$W_{поп} = \mu_3 G_{вбр}(1+\mu_2), \qquad (6.33)$$

где $G_{вбр}$– сила тяжести выглаживающего бруса, Н.

При оценке общей мощности с помощью коэффициента $к_{нр}$ учитывают потери мощности из-за неравномерности движения бруса. В результате суммарную мощность (кВт) одного выглаживающего бруса с поперечными колебаниями определяют по формуле

$$N_{пк} = 4к_{нр} A W_{пк} n_{пк} /(1000\eta_{кбр}), \qquad (6.34)$$

где A – амплитуда поперечных колебаний бруса, A = 0,4…0,7 м;

$n_{пк}$ – частота поперечных колебаний бруса, Гц;

$\eta_{кбр}$ – КПД привода качающегося бруса.

Общая мощность (кВт) *двигателя бетоноукладчика* с учетом мощности привода вспомогательных механизмов

$$N_{бу} = N_{пер} + N_{шн} + N_{вб} + N_{тр} + N_{пк} + N_{всп} + N_{гс}, \qquad (6.35)$$

где $N_{всп}$ – мощность привода вспомогательных механизмов, $N_{всп}$ = (3...5) кВт ;

$N_{гс}$ – мощность привода гидросистемы управления рабочими органами,

$N_{гс} = (5...7)$ кВт .

Эксплуатационную производительность (м^3/ч) бетоноукладчика, который является однопроходной машиной, определяют по формуле

$$П_э = 3600 к_в B h \upsilon_{пер} , \qquad (6.36)$$

где B – ширина обрабатываемой полосы, м;

h – толщина уложенного слоя смеси, м;

$\upsilon_{пер}$ – скорость передвижения бетоноукладчика, м/с.

К основным параметрам вибробруса относятся его габариты, частота колебаний, возмущающая сила, а также масса колеблющихся элементов. Их значения зависят от состава и свойств смеси, плотности и толщины формируемого слоя цементобетона. Минимальную ширину бруса b_{min} выбирают из условия равномерного уплотнения слоя по всей глубине:

$$b_{min} \geq h . \qquad (6.37)$$

Длина основания вибробруса зависит от ширины укладываемой полосы.

Поступательную скорость машины определяют, исходя из условия обеспечения необходимой плотности смеси, которая зависит от времени вибрирования:

$$\upsilon_{пер} = b / t , \qquad (6.38)$$

где b – выбранная ширина вибробруса, м;

t – минимально необходимое время вибрирования смеси, с,

$$t = \begin{cases} 15 – для пластичных, \\ 15...30 – для жестких смесей. \end{cases}$$

Эффективность работы вибробруса, имеющего несколько источников вибрации, зависит от синхронности их колебаний. Ее обеспечивают с помощью жесткой кинематической связи отдельных виброэлементов. Расстояние между ними также оказывает существенное влияние на качество уплотнения смеси. Считают, что оптимальное расстояние (м) между виброэлементами можно определить по формуле

$$l = 3\sqrt[4]{10EJ / m\nu^2} , \qquad (6.39)$$

где E – модуль упругости материала бруса, Па;

J – осевой момент инерции сечения бруса, м^4;

m – масса единицы длины бруса, кг/м;

ν – частота вынужденных колебаний, $\nu = 35...75$ Гц, с увеличением массы бруса следует выбирать меньшие значения частоты.

Возмущающая сила виброэлемента (Н) связана с характеристиками дебалансного вала формулой

$$P = m_{д} l \omega^2 , \qquad (6.40)$$

где $m_{д}$ – масса дебалансного вала, кг;

l – эксцентриситет, м;

ω – угловая скорость вращения дебаланса, $с^{-1}$.

К основным направлениям развития машин для строительства цементобетонных покрытий относятся следующие:

1) автоматизация всех операций технологического процесса, обеспечивающая высокое качество покрытий при функционировании комплекса машин по заданной программе с учетом свойств ЦБ смеси, характеристик основания и формируемой бетонной плиты;

2) расширение технологических возможностей машин средней мощности путем оснащения машин многоцелевым рабочим оборудованием, обеспечивающим заданные качество и скорость укладки покрытий при решении различных технологических задач;

3) совершенствование мероприятий по энергосбережению и экологической безопасности эксплуатации машин.

7 МАШИНЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ОБЛЕГЧЕННЫХ И ПЕРЕХОДНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

7.1 Технологические процессы устройства облегченных и переходных покрытий

К *облегченным покрытиям* относят усовершенствованные покрытия, которые формируют из горячих (марки III), теплых и холодных асфальтобетонных смесей, а также дегтебетонных и смесей на основе эмульсий. Кроме того, облегченными покрытиями считают покрытия, сформированные по методу пропитки и смешения на месте, а также слои износа, устроенные на покрытиях переходного типа. Их расчетный срок службы должен составлять 10 лет.

Наиболее востребованными являются холодные регенерированные АБ смеси на основе битумных эмульсий. В зависимости от области применения (покрытие или основание) подбирают состав вяжущих и минеральных материалов, а также режимы технологического процесса. В качестве вяжущих используют как органические (битумную эмульсию, вспененный битум), так и неорганические вещества (цемент, цементо-водную суспензию), а также комплексные вяжущие на их основе. Применение новых типов органических и неорганических вяжущих позволяет реализовать заданный уровень технико-эксплуатационных характеристик покрытий.

Холодные регенерированные АБ смеси используют при формировании дорожной одежды в различных вариантах:

– во-первых, для устройства верхних слоев оснований на дорогах I–III категорий;

– во-вторых, для устройства нижних слоев покрытий на дорогах III категории;

– в-третьих, для устройства верхних слоев покрытий на дорогах IV–V категорий.

Переходными покрытиями считают неукрепленные щебеночные, гравийные и шлаковые покрытия, а также покрытия из грунтов, укрепленных вяжущими материалами (жидким битумом, битумной эмульсией, известью и др.). Их устраивают на дорогах IV–V категорий. В ряде случаев их используют как основание под усовершенствованные покрытия. Расчетный срок службы переходных покрытий – до 6 лет.

В настоящее время устройство облегченных и переходных покрытий, а также их ремонт производят в основном по методу *холодного рециклинга (ресайклинга)*. Этот метод состоит в объединении в единый технологический процесс нескольких операций – фрезерования, перемешивания, стабилизации, уплотнения и профилирования восстанавливаемого участка дороги за один проход. Его применяют на дорогах с разными типами покрытий: гравийных, щебеночных неукрепленных, щебеночных укрепленных и асфальтобетонных.

Устройство или восстановление дорожной одежды по методу *холодного рециклинга* осуществляют только на дороге. Его целесообразно классифицировать по следующим основным признакам:

1) *по назначению* – для устройства облегченных и переходных покрытий и оснований, для ремонта дорожной одежды;

2) *по объему ремонта* – только покрытия или одновременно покрытия и основания;

3) *по составу стабилизирующего вяжущего* – органические, неорганические и комплексные;

4) *по типу основной машины комплекса* – с применением грунтосмесителя или рециклера.

Технологический процесс *холодного рециклинга* выполняют на дороге комплексом машин на основе специализированной машины (грунтосмесителя или рециклера). Состав комплекса и выбор основной машины зависят прежде всего от поставленной технологической задачи – устройства или ремонта дорожной одежды.

Для устройства *переходных покрытий* используют комплексы машин на основе грунтосмесителя.

Для устройства *облегченных покрытий* применяют комплексы на основе рециклера.

Холодный рециклинг включает следующие операции:

– холодное фрезерование изношенного слоя;

– смешение полученного гранулята с новыми компонентами (минеральным материалом и вяжущим);

– укладку, профилирование и уплотнение на дороге.

Холодный рециклинг обеспечивает максимальное (до 100 %) повторное использование материала ремонтируемого покрытия без предварительного разогрева покрытия, что способствует снижению энергоемкости технологического процесса и уменьшению его воздействия на окружающую среду.

Однако рециклированные слои можно использовать в качестве покрытий только на дорогах с низкой интенсивностью движения. На дорогах с интенсивным движением поверх рециклированного слоя требуется нанесение дополнительного покрытия, обладающего высокой износостойкостью и другими необходимыми технико-эксплуатационными характеристиками.

7.2 Грунтосмесители и рециклеры

Грунтосмеситель представляет собой передвижную машину, которая предназначена для устройства усовершенствованных покрытий из укрепленных грунтов, а также оснований дорожной одежды дорог с высокой интенсивностью движения. Машина снимает верхний слой грунта и измельчает его, вводит в него вяжущее, перемешивает полученную смесь и распределяет ее на обрабатываемой полосе дороги. При помощи грунтосмесителя можно производить ряд технологических операций, в их числе:

– перемешивание материалов на полотне строящейся или ремонтируемой дороги;

– перемешивание грунтов с минеральными и органическими вяжущими, а также с комплексными вяжущими на их основе;

– разрыхление грунтов для ускорения их высыхания;

– перемешивание неоднородных грунтовых смесей для обеспечения гомогенности (однородности) их состава перед уплотнением;

– разрушение изношенных покрытий для их дальнейшего восстановления.

Грунтосмесители разделяют по следующим основным признакам:

1) *по назначению* – специализированные и универсальные;

2) *по способу передвижения* – навесные, прицепные и самоходные;

3) *по типу ходового оборудования* – колесные, гусеничные и комбинированные;

4) *по числу роторных рабочих органов* – одно-, двух-, трех- и четырехроторные;

5) *по типу силовой трансмиссии* – с механической и гидравлической;

6) *подаче вяжущего* – из блока емкостей машины или из автономных машин (битумовозов и цементовозов), соединенных с грунтосмесителем гибкими шлангами.

Специализированные грунтосмесители могут выполнять только отдельные операции, связанные в основном со стабилизацией грунтов. Универсальные машины выполняют комплекс дорожных работ по устройству покрытий из укрепленных грунтов. Соответственно, в зависимости от назначения эти машины имеют различный набор роторных рабочих органов и систем их управления.

Навесные и прицепные грунтосмесители агрегатируют с гусеничными и колесными тракторами. Как правило, *навесные* грунтосмесители имеют один рабочий орган в виде фрезы, которую приводят от гидросистемы базовой машины. *Прицепные* фрезы приводят от базового тягача или от автономного двигателя. *Самоходные* грунтосмесители монтируют в основном на специальном пневмоколесном шасси.

Основным рабочим органом является фрезерный барабан. Он представляет собой стальной пустотелый цилиндр, к наружной поверхности которого крепят быстросъемные резцедержатели с твердосплавными резцами. Диаметр барабана, а также характеристики режущих элементов (форма и размеры резцов, размеры и расположение резцедержателей) зависят от назначения рабочего органа. Универсальные барабаны оснащают круглыми резцами, которые свободно вращаются вокруг своей оси. Рыхлительные и смесительные барабаны оснащают лопатками на длинной стойке, которые разрыхляют грунт и перемешивают его с вяжущими веществами и другими добавками. Резцы и лопатки располагают по винтовой линии или в шахматном порядке. Длина барабана определяет ширину обрабатываемой полосы и зависит от мощности силовой установки машины. Направление вращения барабана может быть как по направлению движения машины, так и против ее движения. Предпочтение отдают встречному вращению, обеспечивающему более высокую стабильность глубины резания и качественное измельчение гранулята.

На рисунке 7.1 представлена принципиальная схема рабочей камеры фрезы. Сверху, с боков и с торцов барабан 1 закрыт кожухом 5, который предотвращает разбрасывание гранулята. Изнутри кожух футерован износостойким и ударопрочным покрытием. Как правило, кожух оснащают регулируемой дробящей плитой 3 и дробящим брусом 4, которые способствуют дополнительному измельчению асфальтобетона или грунта. Толщину сфрезерованного слоя регулируют откидными гидрофицированными фартуками 7, которые выравнивают его поверхность. Глубину фрезерования изменяют при помощи гидроцилиндров подъема-опускания барабана. В рабочем положении кожух 5 опирается на полотно опорными лыжами 2, которые скользят по краям обрабатываемой полосы покрытия.

Отметим, что большая часть грунтосмесителей и рециклеров имеют такую же конструкцию рабочей камеры фрезы.

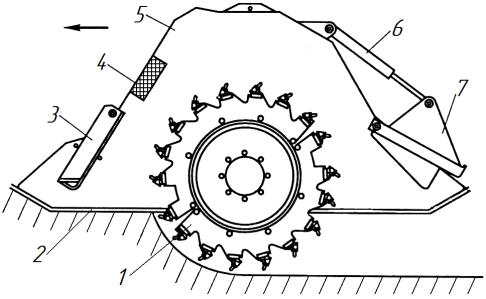


Рисунок 7.1 – Схема рабочей камеры фрезы:
1– фрезерный барабан; 2 – опорная лыжа; 3 – дробящая плита; 4 – дробящий брус; 5 – защитный кожух; 6 – гидроцилиндр управления фартуком; 7 – откидной фартук

Для привода фрезы грунтосмесителя используют механические или гидрообъемные трансмиссии. Механические трансмиссии включают муфту сцепления, раздаточный редуктор и различные передачи. Так, непосредственно рабочие органы приводят при помощи цепных или ременных передач, цилиндрических или планетарных редукторов. Предпочтение отдают клиноременным передачам, которые предохраняют привод от пиковых нагрузок.

Ходовое оборудование приводят обычно при помощи гидрообъемных передач.

В качестве примера на рисунке 7.2 представлена конструктивная схема самоходного однороторного грунтосмесителя на пневмоколесном шасси (в транспортном положении). На колеса 7 и 12 шасси опирается монолитная рама 3, передняя часть которой образована подмоторной рамой. На ней крепят двигатель 6 с гидрообъемной ходовой трансмиссией, передний ведущий мост и кабину машиниста 5. Передний мост оснащен блокируемым дифференциалом и неуправляемыми колесами 2 со ступичными редукторами, которые приводит через мост и коробку передач регулируемый гидромотор.

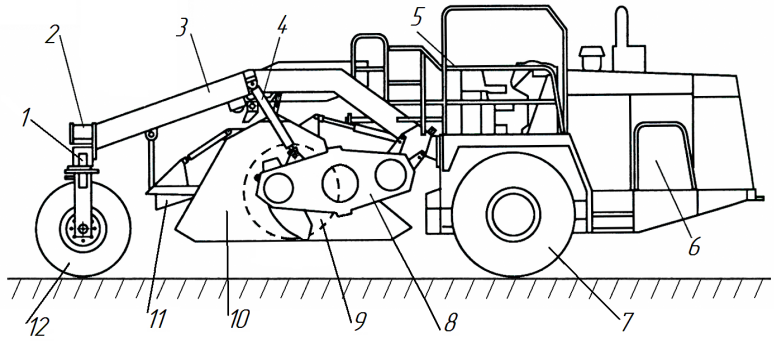


Рисунок 7.2 – Конструктивная схема самоходного грунтосмесителя:
1 – шарнир крепления колеса; 2 – шарнир крепления рулевой рампы; 3 – рама машины; 4 – гидроцилиндр подъема-опускания фрезы; 5 – кабина управления; 6 – силовая установка; 7 – ведущее колесо; 8 – клиноременной редуктор привода фрезы; 9 – фрезерный барабан; 10 – кожух фрезерного барабана; 11 – откидной фартук; 12 – заднее управляемое колесо

Под выгнутой вверх рамой 3 размещен кожух 10 с фрезерным барабаном 9, его приводом и системой управления. Колеса 12 крепят на вертикальных стойках П-образной рампы, которая в свою очередь крепится к раме 3 машины в средней точке своей поперечной траверсы. Шарнир 2 обеспечивает качание рулевой рампы в поперечной плоскости на угол $\pm 15^0$. Управляемые колеса поворачиваются вокруг вертикальной оси вместе с вертикальными стойками рампы.

Весьма наглядной представляется компоновочная схема рабочих органов (рисунок 7.3) универсального самоходного грунтосмесителя, содержащего четыре роторных рабочих органа (фрезу, рыхлитель, двухвальный смеситель). Машина (типа ДС-16) может производить холодный рециклинг грунтовых и гравийных покрытий, а также подготовку и стабилизацию грунтов для строительства оснований. Его рабочие органы – это рыхлительный барабан 11 с жесткими лопатками, фреза-измельчитель 10 с гибкими лопатками, а также смеситель 9. Рама рабочих органов опирается на две оси: переднюю – с двумя ведущими колесами 12 и заднюю – с шестью пневмошинами 7, которые выполняют функции уплотняющего катка.

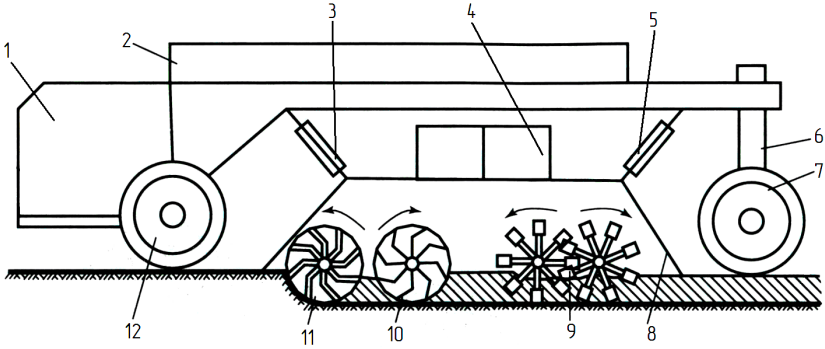


Рисунок 7.3 – Компоновочная схема самоходного грунтосмесителя:
1 – силовая установка; 2 – емкости для вяжущих и воды; 3, 5 – гидроцилиндры управления положением рабочих органов; 4 – привод рабочих органов; 6 – механизм управления задними колесами; 7 – валец пневмошинный; 8 – кожух с дробящей плитой; 9 – двухвальный смеситель; 10 – фреза; 11 – рыхлитель; 12 – переднее ведущее колесо

Гидравлическая подвеска рамы (на гидроцилиндрах 3 и 5) допускает раздельный подъем и опускание ее передней и задней балок, что дает возможность использовать как все рабочие органы совместно, так и раздельно рыхлитель с фрезой или смеситель. Грунтосмеситель оборудован блоком емкостей 2, в том числе теплоизолированной обогреваемой цистерной для органических вяжущих, бункером для неорганических сыпучих вяжущих (цемента) и емкостью для воды. Эти компоненты при помощи распределительных устройств подают в смесительную камеру и перемешивают с грунтом рабочими органами. В задней части смесительной камеры смонтирована поворотная стенка 8, планирующая поверхность разрыхленного материала. Вяжущие можно также подавать непосредственно из автоцементовозов или автогудронаторов, резервуары которых подключают к распределительным системам грунтосмесителя.

Развитие эффективных технологий дорожного строительства, применение новых типов органических и неорганических вяжущих материалов вы-

нуждает использовать конструктивно более сложные, но и более универсальные машины – *рециклеры*, способные производить холодный рециклинг покрытий на новом техническом уровне.

При помощи современных рециклеров реализуют следующие методы холодного рециклинга:

1) гомогенизацию (разрыхление) грунтов, которая способствует более высокому качеству подготовки основания дорожной одежды;

2) стабилизацию (упрочнение) грунтов известью, что повышает несущую способность, водо- и морозостойкость основания дорожной одежды;

3) стабилизацию грунтов и АБ смесей цементом, что также повышает несущую способность, водо- и морозостойкость основания, а также верхних слоев покрытий дорог IV–V категорий;

4) гранулирование (дробление) материала изношенных АБ покрытий (без добавления или с добавлением воды) для использования в качестве основания, на которое затем могут укладываться новые слои дорожной одежды;

5) капитальный ремонт облегченных АБ покрытий с применением органических (битумных эмульсий), минеральных (цемента) и комплексных (цемента и битумной эмульсии) вяжущих.

В зависимости от исходного агрегатного состояния вяжущих добавок для реализации основных методов используют технологические комплексы, состоящие из следующих машин:

– рециклер, автоцистерна с водой, автобитумовоз (или автогудронатор) с битумной эмульсией, цементовоз, автогрейдер и асфальтовый каток – *для жидких вяжущих*;

– рециклер, распределитель дорожно-строительных материалов (в том числе цемента), поливо-моечная машина, автогрейдер и асфальтовый каток – *для порошкообразных вяжущих*.

Рециклеры целесообразно классифицировать по следующим основным признакам:

1) *по типоразмеру* – малые, средние и большие;

2) *по типу ходовой системы* – гусеничная и пневмоколесная;

3) *по типу силовой трансмиссии* – с механической и гидравлической;

4) *по расположению фрезерного барабана* – в центре колесной базы и за задней осью рециклера;

5) *по подаче вяжущего* – из блока емкостей машины или из автономных машин (битумовозов и цементовозов), соединенных с рециклером гибкими шлангами.

Технологический процесс восстановления (холодного рециклинга) дорожной одежды при помощи рециклера включает следующие стадии:

– срезание изношенного слоя АБ покрытия (или покрытия и основания);

– перемешивание полученного гранулята с новым вяжущим и минеральным материалом;

– укладку ремонтной смеси на дорожное полотно;

– профилирование и уплотнение уложенного слоя.

На рисунке 7.4 приведена схема компоновки пневмоколесного рециклера малого типоразмера. Он смонтирован на раме 6, которая опирается на четыре ведущих управляемых колеса 1. Ступица каждого из них укреплена на Г-образном кронштейне 8, который обеспечивает поворот колеса. Он соединен со штоком гидроцилиндра 5, который регулирует высоту рамы с рабочим оборудованием над обрабатываемой полосой. Машина оборудована гидрообъемной ходовой трансмиссией.

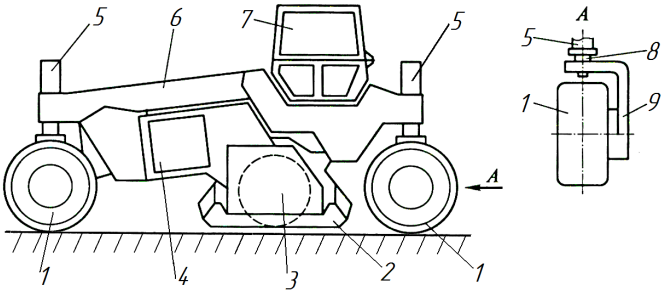


Рисунок 7.4 – Схема рециклера малого типоразмера:
1 – ведущее управляемое колесо; 2 – кожух защитный; 3 – фрезерный барабан; 4 – силовая установка; 5 – гидроцилиндр изменения дорожного просвета; 6 – рама; 7 – кабина управления; 8 – шток гидроцилиндра; 9 – кронштейн крепления колеса

Каждое колесо снабжено ступичным гидромотором и планетарным редуктором. Гидрообъемный рулевой механизм обеспечивает маневрирование поворотом передних или задних колес, а также «крабом».

Рабочим органом является фрезерный барабан с механическим приводом его вращения. Фрезеруют обрабатываемую полосу при движении машины в любом направлении, но при неизменном направлении вращения фрезы. Подачу вяжущих в зону обработки производят от специализированных машин с автономным приводом. Машина имеет систему автоматического управления рабочими органами и другими агрегатами, в том числе регулирование мощности двигателя и скорости перемещения в зависимости от нагрузки на рабочем органе, изменение частоты вращения фрезы в зависимости от толщины и прочностных характеристик обрабатываемого материала, а также контроль расхода воды, минеральных и органических вяжущих.

На рисунке 7.5 представлена схема компоновки рабочих органов рециклера большого типоразмера на гусеничном ходу (модели WR-4200 фирмы «Wirtgen»). Ее масса составляет 75 т, ширина рабочей полосы от 2,8 до 4,2 м при глубине фрезерования 0,2 м. Ходовая система состоит из четырех гусеничных тележек с индивидуальным приводом на каждую тележку. Машина

оборудована двумя фрезами, смесителем производительностью 400 т/ч, а также двумя дизельными двигателями мощностью по 470 кВт каждый. Рециклер имеет основную фрезу 2, а также вспомогательные фрезы 3 с изменяемой шириной резания. Машина оснащена емкостями для компонентов (минеральных материалов, цемента, воды, битумной эмульсии и др.), а также двухвальным смесителем 1 для их перемешивания, расположенным вдоль продольной оси машины, шнеком 11 для распределения смеси и раздвижным трамбующим брусом 12. Кроме того, машина имеет автоматизированные системы дозирования эмульсии, воды, цемента и цементо-водной суспензии. Кожух фрезерного барабана спереди и сзади снабжен гидрофицированными щитами, которые являются дробильными щеками. Изменяя их положение, можно управлять степенью измельчения гранулята.

Фреза 2 срезает, измельчает и перемешивает материал дорожной одежды. При этом в двухвальный смеситель 1 подают вяжущее, а также при необходимости минеральный материал из бункера. Далее полученную смесь выкладывают на полотно, где распределительный шнек 11 смешивает ее с асфальтовым гранулятом и распределяет по ремонтируемому участку, после чего смесь уплотняют – предварительно вибробрусом 12 и окончательно комплектом катков.

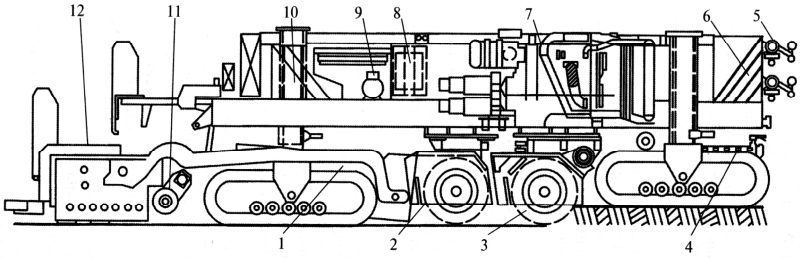


Рисунок 7.5 – Схема рециклера большого типоразмера:
1 – двухвальный смеситель; 2 – фрезерный барабан; 3 – фрезы варио; 4 – устройство для подачи вспененного битума; бак для битумной эмульсии; 5 – устройство для подачи воды и битумной эмульсии; 6 – бак для воды; 7 – силовая установка; 8 – масляный бак; 9 – устройство подогрева вспененного битума; 10 – топливный бак; 11 – распределительный шнек; 12 – трамбующий брус

Возможен вариант технологического процесса, когда порошкообразный стабилизатор (цемент или известь) распределяют на обрабатываемый участок равномерным слоем перед рециклером, а машина при фрезеровании смешивает его с гранулятом и водой.

Фрезерный барабан представляет собой полый стальной цилиндр, на наружной поверхности которого по винтовой линии укреплены при помощи болтов легкосъемные резцедержатели. Для фрезерования асфальтобетона в держатели устанавливают круглые резцы из твердосплавных износостойких

материалов. На рисунке 7.6 изображен режущий элемент фрезерного барабана. Он состоит из наконечника, т.е. режущей головки 1 и держателя 4, который легко вынимается из гнезда на барабане 7. Для повышения эффективности эксплуатации фрез используют систему водяного орошения, которая очищает и охлаждает резцы, а также осаждает образующуюся при резании пыль.

Для оперативной замены режущих элементов дорожные фрезы, как правило, оснащают вспомогательным оборудованием, в их числе пневматический съемник режущих элементов и гидроустройство для проворачивания барабана.

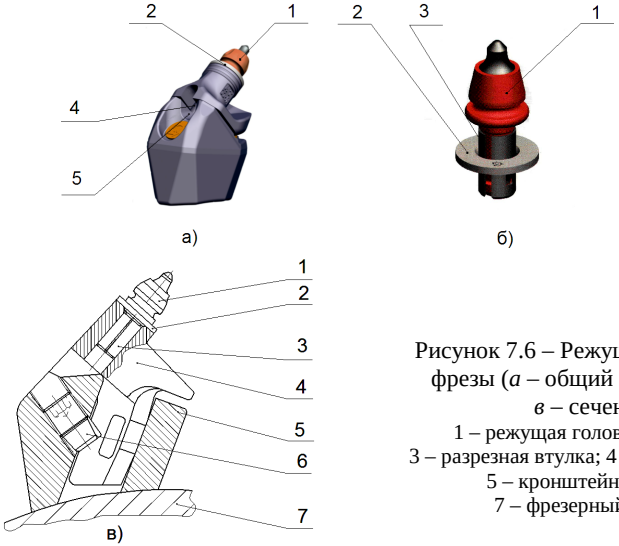


Рисунок 7.6 – Режущий инструмент фрезы (*а* – общий вид; *б* – резец; *в* – сечение):
1 – режущая головка; 2 – шайба;
3 – разрезная втулка; 4 – резцедержатель;
5 – кронштейн; 6 – винт;
7 – фрезерный барабан

Ведущие производители дорожных машин (компании «Bomag», «Bitelli», «Wirtgen Group», «Hamm», «Caterpillar», «Sakai», «Komatsu» и др.) выпускают рециклеры как для стабилизации грунта оснований дорожной одежды, так и для холодного рециклинга АБ покрытий дорог. Машины различаются типоразмером и расположением рабочих органов, видом движителя и типом привода рабочих органов, уровнем автономности обеспечения вяжущими материалами, а также степенью автоматизации системы управления технологическим процессом.

В таблице 7.1 представлены характеристики рециклеров некоторых производителей дорожных машин. Их главным рабочим органом является фрезерно-смешивающий барабан. При фрезеровании покрытия в рабочую камеру подают жидкое вяжущее (битумную эмульсию, цементно-водную суспензию или их смесь).

Таблица 7.1 ? **Основные технические характеристики рециклеров**

Параметр	BOMAG		HAMM	Wirtgen		
	MPH100S/ MPH 100 R	MPH 120	RACO 250	2100 DCR	WR 4500	WR 2500/ WR 2500 K
Ширина полосы, м	2,1/2,0	2,1	2,35	2,0	3,0 – 4,5	2,4
Глубина фрезерования, мм	356/305	400	420	250	500	500
Диаметр барабана, м	1,2/1,1	1,2	1,35	–	–	1,48
Частота вращения барабана, об/мин	0–135	120–220	0–155	–	–	–
Мощность, кВт	345	263	339	448	550	448
Тип механизма передвижения	К	К	К	Г	Г	К
Рабочая масса, т	14,7	19,9	19,3	43,6	80,0	33,0/40,0

Примечание – К – колесный, Г – гусеничный.

Управление технологическим процессом осуществляют блоком микропроцессоров, которые контролируют рабочую скорость и работу рулевого управления, управляют работой двигателя, сцепления и тормозной системой, а также положением фрезы. Система подачи битумной эмульсии включает битумный насос, расходомер, распределительную трубу с соплами и клапанами, равномерно распределенными по ее длине. Система подачи воды также содержит центробежный насос, расходомер и распределительную трубу с соплами. Дозированием вяжущих с учетом скорости машины управляет электронный блок. Принимая входные сигналы с датчиков скорости и расходомера битумной эмульсии и воды, он управляет производительностью насосов подачи вяжущих. Машины имеют гидросистемы с независимыми контурами для привода хода, исполнительных гидроцилиндров и радиаторов.

Например, рециклер MPH 100 S для стабилизации грунта представляет собой специальное шасси, на котором смонтирована силовая установка, приводящая насосы гидросистемы, и кабина управления. Рабочий орган машины – фрезерный барабан – расположен на отдельной раме, смонтированной консольно за задней осью машины. Привод фрезерного барабана, его подъема и опускания, механизма передвижения и рулевого управления – гидравлический. В модели MPH 100 R кожух фрезерного барабана оборудован системой распределения вяжущего (битумной эмульсии) и воды, а также насосами для их подачи из движущихся вместе с машиной битумовоза (автогудронатора) и цистерны с водой.

Более эффективной является конструктивная схема с расположением фрезерного барабана в центре колесной базы рециклера. Такую схему имеет подавляющее большинство современных рециклеров.

Пневмоколесные рециклеры снабжены мощной рамой хребтового типа, в передней части которой установлена силовая установка (двигатель, приводящий насосы гидросистемы) и кабина с пультом управления. В центральной части рама имеет шарнирное сочленение, обеспечивающее возможность поворота. Крайними точками рама опирается на передний и задний мосты с колесами, имеющими шины низкого давления, причем колеса заднего моста имеют возможность поворота для увеличения маневренности машины. В центре колесной базы в кожухе, образующем камеру дробления, установлен фрезерный барабан. Объем камеры дробления можно изменять в процессе работы, поднимая или опуская кожух фрезерного барабана. Кожух оборудован управляемой заслонкой в задней части, системами подачи вяжущего (битумной эмульсии) и воды в зону фрезерования посредством насосов из движущихся вместе с рециклером битумовоза (автогудронатора) и цистерны. Привод ходовых колес, насосов, фрезерного барабана, его подъем и опускание, а также подъем и опускание его кожуха, управление заслонкой кожуха и поворотом задних колес осуществляется гидравлической системой рециклера, имеющей общий контур.

Гусеничные рециклеры имеют другую компоновочную схему. Например, в рециклерах моделей 2100 DCR и WR 4500 (см. таблицу 7.1) рама установлена на четырех гусеничных тележках. На ней смонтированы силовая установка, пульт управления, рабочий орган с системами подачи, дозирования и распределения вяжущего (битумной эмульсии) и воды. Различие моделей 2100 DCR и WR 4500 заключается в конструкции рабочего органа. Модель 2100 DCR оборудована одним фрезерным барабаном с механическим приводом, позволяющим обрабатывать полосу шириной 2000 мм, а модель WR 4500 – тремя фрезерными барабанами с гидравлическим приводом для бесступенчатой регулировки ширины фрезерования в пределах 3000 – 4500 мм. Кроме того рециклер WR 4500 имеет в передней части рамы приемный бункер, загружаемый автомобилями – самосвалами, из которого при необходимости минеральные материалы могут дозированно поступать в зону фрезерования. У рециклера 2100 DCR отсутствует бункер для минеральных материалов, поэтому их требуется предварительно распределить по ширине ремонтируемой полосы с помощью другой дорожной техники. Гидравлическая система машины обеспечивает привод механизма передвижения, управление глубиной фрезерования и шириной обрабатываемой полосы, механизмом формирования профиля восстанавливаемого покрытия, а также насосами подачи вяжущего и воды.

Применение гусеничного механизма передвижения позволяет более точно выдерживать заданные параметры фрезерования и профилирования ремонтируемого покрытия за счет лучшей устойчивости при движении, но не позволяет осуществлять технологический процесс стабилизации грунта и рециклинга грунтовых оснований автомобильных дорог из-за более высокого давления на поверхность покрытия.

Рециклер WR 2500 и его модификация WR 2500 K, содержащие бункер и систему дозирования минеральных материалов, также имеют необходимое оборудование для эффективного выполнения холодного рециклинга. Их шасси представляет собой пространственную раму (ее силовые элементы образуют бак для воды), на которой смонтированы силовая установка, кабина управления и рабочий орган. Крайними точками рама опирается на четыре управляемых колеса низкого давления, каждое из которых соединено с рамой посредством гидравлического цилиндра, что позволяет оперативно изменять дорожный просвет рециклера и обеспечивает высокую проходимость даже на слабонесущих грунтах. Привод ходовых колес гидравлический, причем каждое колесо имеет независимый контур. Фрезерный барабан, расположенный в центре колесной базы, приводят от двигателя через коробку передач, планетарный редуктор и ременную передачу. Кожух фрезерного барабана позволяет изменить объем камеры дробления для оптимального измельчения материала покрытия и его перемешивания с вяжущим; кроме того, он оборудован двумя управляемыми заслонками в перед-

ней и задней частях, что обеспечивает возможность фрезерования при движении рециклера вперед и назад. Дозированное распределение в камеру дробления вяжущего (битумной эмульсии или вспененного битума) и воды осуществляют тремя независимыми системами с помощью насосов посредством форсунок, управляемых системой управления машины.

Отличительной особенностью конструкции рециклера WR 2500 является система распределения вспененного битума, которая позволяет эффективно обрабатывать вяжущим гранулят благодаря его улучшенной проникающей способности. Следует отметить, что рециклинг с применением вспененного битума можно называть холодным лишь отчасти, поскольку битум находится в расплавленном состоянии. В данной системе в горячий битум, подаваемый под давлением в форсунку, впрыскивают холодную воду, что увеличивает его объем примерно в 20 раз. В результате вспенивания вязкость битума значительно снижается, что улучшает обволакивание гранулята.

Модель WR 2500 K имеет встроенный бункер для минерального вяжущего, из которого цемент с помощью дозатора подают в зону фрезерования, перемешивая с гранулятом. Регулирование глубины фрезерования и положения заслонок кожуха фрезерного барабана, установка кабины управления, привод механизма передвижения и насосов подачи вяжущего и воды осуществляют гидравлической системой, насосы которой приводят от двигателя рециклера.

Расчеты основных параметров грунтосмесителей и рециклеров *При проектировании грунтосмесителей* определяют основные характеристики машины, производят тяговый расчет, оценивают баланс мощности и др. Основными параметрами грунтосмесителя являются частота вращения барабана фрезы и толщина срезаемого слоя, мощность силовой установки, производительность и др.

Частоту вращения фрезерного барабана ($с^{-1}$) можно определить по формуле

$$n_{бар} = \upsilon_{рез} / \pi D_{бар}, \qquad (7.1)$$

где $\upsilon_{рез}$ – линейная скорость резцов относительно грунта, $\upsilon_{рез}$ = 9…14 м/с;

$D_{бар}$ – диаметр фрезерного барабана по режущим кромкам резцов, м.

Толщина срезаемой стружки грунта зависит от многих факторов, в том числе от категории трудности его разработки, от числа резцов, одновременно взаимодействующих с грунтом, от мощности, которая затрачивается на его разрушение. Принимают следующие толщины (м) стружки, срезаемой одним резцом фрезы:

$$c = \begin{cases} 0{,}002 \text{ – для связного грунта,} \\ 0{,}005 \text{ – для несвязного грунта.} \end{cases}$$

Рабочую поступательную скорость фрезы (м/с) находят из выражения

$$\upsilon_{раб} = czn_{бар}\,, \qquad (7.2)$$

где z – число резцов в сечении фрезы, z = 2…4.

Баланс мощности состоит в оценке мощности, затрачиваемой на рабочий процесс. При этом следует отметить, что основная часть мощности расходуется на работу фрезы. В общем случае для грунтосмесителя, имеющего рыхлитель, фрезу и двухвальный смеситель, мощность (кВт) его силовой установки рассчитывают с учетом выражения

$$N_{гс} = N_{рез} + N_{отб} + N_{рых} + N_{изм} + N_{меш} + N_{пер} + N_{тр}\,, \qquad (7.3)$$

где $N_{рез}$ – мощность на резание грунта;

$N_{отб}$ – мощность на отбрасывание грунта фрезой;

$N_{рых}$ – мощность на рыхление грунта;

$N_{изм}$ – мощность на измельчение грунта;

$N_{меш}$ – мощность на перемешивание компонентов смеси;

$N_{пер}$ – мощность на перемещение машины;

$N_{тр}$ – мощность, затрачиваемая в трансмиссии машины.

Выражение (7.3) следует корректировать в зависимости от числа рабочих органов грунтосмесителя.

Мощность (кВт), *затрачиваемую на резание материала*, определяют по формуле

$$N_{рез} = k_р b_р c h_р z n_{бар}\,, \qquad (7.4)$$

где $k_р$ – удельное сопротивление грунта резанию, кПа,

$$k_р = \begin{cases} 70...80 \text{ – для грунта I категории,} \\ 130...140 \text{ – для грунта II категории,} \\ 200...220 \text{ – для грунта III категории;} \end{cases}$$

$b_р$ – ширина режущей кромки одного резца, м;

$h_р$ – глубина резания, м.

Если грунт предварительно разрыхлен, то значения мощности следует уменьшить на 15–20 %.

Мощность (кВт), *которая расходуется на отбрасывание грунта фрезой*,

$$N_{от} = к_{от} m \upsilon_{окр}^2 / 2000 = к_{от} \rho B h_р \upsilon_{раб} \upsilon_{окр}^2 / 2000\,, \qquad (7.5)$$

где $к_{от}$ – коэффициент отбрасывания грунта,

$$к_{от} = \begin{cases} 0{,}75 - \text{для узких лопастей,} \\ 1{,}0 - \text{для широких лопастей;} \end{cases}$$

m – масса грунта, отбрасываемого в единицу времени, кг/с;

ρ – плотность грунта, кг/м^3;

$\upsilon_{окр}$ – окружная скорость на концах лопастей, м/с;

B – ширина захвата фрезы, м.

Мощность (кВт), *затрачиваемая на рыхление*,

$$N_{рых} = (1{,}15 \ldots 1{,}20)\, N_{рез}\,. \qquad (7.6)$$

Мощность (кВт), *расходуемая на измельчение грунта*,

$$N_{изм} = (0{,}2 \ldots 0{,}3)\, N_{рез}\,. \qquad (7.7)$$

Мощность (кВт), *необходимую для перемешивания компонентов в двухвальном смесителе*, определяют из эмпирического выражения

$$N_{меш} = 12\upsilon_{лоп} G_{с}\,, \qquad (7.8)$$

где $\upsilon_{лоп}$ – окружная скорость лопастей, м/с;

$G_{с}$ – сила тяжести смеси в смесителе, кг.

Мощность (кВт), *расходуемая на перемещение фрезы*, рассчитывают по формуле

$$N_{пер} = (f + i) G_{гс} \upsilon_{раб} / (1000 \eta_{пр})\,, \qquad (7.9)$$

где f – коэффициент сопротивления передвижению;

i – индекс уклона;

$G_{гс}$ – сила тяжести грунтосмесителя, Н;

$\eta_{пр}$ – КПД привода машины.

И наконец, *мощность* (кВт), *затрачиваемая на преодоление сопротивления трению* в трансмиссии от вала отбора мощности до вала рабочего органа,

$$N_{тр} = (N_{рез} + N_{от}) / 1000 (1 - \eta_{тр})\,, \qquad (7.10)$$

где $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии.

Расчет фрезерного барабана и его трансмиссии производят по максимальному крутящему моменту (кН $\cdot$ м) с учетом динамических нагрузок

$$T_{макс} = к_{дин} T_{кр}\,, \qquad (7.11)$$

где $к_{дин}$ – коэффициент динамичности, $к_{дин}$ = 1, 5…2,0;

$T_{кр}$ – крутящий момент на валу фрезерного барабана, кН·м,

$$T_{кр} = (N_{гс} - N_{пер} - N_{тр} - N_{меш})n_{бар} / 2\pi\eta_{бар}, \quad (7.12)$$

где $\eta_{бар}$ – КПД трансмиссии от двигателя до фрезерного барабана.

Конструктивные элементы фрезерного барабана (стойки, кронштейны) определяют с учетом окружного усилия на барабане:

$$P_{окр} = 2T_{макс} / D_{бар}.$$

Производительность (м^3/ч) грунтосмесителя

$$П_{гс} = 3600к_{в}(B - a_{п})h_{р}\upsilon_{раб}, \quad (7.13)$$

где $к_{в}$ – коэффициент использования машины по времени, $к_{в}$ = 0,80…0,85;

$a_{п}$ – размер перекрытия соседних полос, $a_{п}$ = 0,1…0,2 м.

При проектировании рециклеров производят тяговый и энергетический расчеты, определяют параметры машины и отдельных рабочих органов, производят расчеты гидравлической системы и подбор гидрооборудования для управления рабочими органами и агрегатами.

Основными характеристиками рециклеров являются масса машины и мощность ее силовой установки, ширина и толщина сфрезерованного и нанесенного слоя покрытия, объемы емкости для вяжущего и бункера для смеси, а также рабочие и транспортные скорости.

Тяговый расчет проводят на основе анализа уравнения тягового баланса. Для рециклера, оснащенного комплектом рабочих органов для холодного восстановления АБ покрытий, общая сила сопротивления в рабочем режиме включает следующие наиболее значимые сопротивления:

– фрезерованию холодного асфальтобетона $W_{ф}$;

– перемещению машины $W_{пер}$.

Сопротивление фрезерованию (Н) *холодного асфальтобетона*

$$W_{ф} = k_{р}b_{ф}h_{ф}, \quad (7.14)$$

где $k_{р}$ – коэффициент удельного сопротивления фрезерованию холодного асфальтобетона, $k_{р}$ = 4…10 МПа;

$b_{ф}$ – ширина фрезерования, м;

$h_{ф}$ – глубина фрезерования, м.

Сопротивление перемещению рециклера (Н)

$$W_{\text{пер}} = (f_1 + i)G_{\text{р}}\,, \tag{7.15}$$

где f_1 – коэффициент сопротивления перемещению машины, f_1 = 0,06…0,12;
i – уклон пути, i = 0,03…0,07;
$G_{\text{р}}$ – сила тяжести рециклера, Н.

Силами сопротивления, связанными с взаимодействием рабочих органов с укладываемой смесью, можно пренебречь.

Для преодоления сил сопротивления, возникающих при работе машины, должно выполняться условие

$$T \geq W\,, \tag{7.16}$$

где T – сила тяги силовой установки, Н;

$$W = W_{\text{ф}} + W_{\text{пер}}\,.$$

Зная мощность силовой установки, можно определить силу тяги (Н) из выражения

$$T = \eta_{\text{тр}} u_{\text{тр}} N_{\text{дв}} / (n_{\text{кол}} \omega_{\text{д}} r_{\text{кол}}), \tag{7.17}$$

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

$u_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии;

$N_{\text{дв}}$ – мощность двигателя, Вт;

$n_{\text{кол}}$ – число ведущих колес;

$\omega_{\text{д}}$ – угловая скорость вращения вала двигателя, с$^{-1}$;

$r_{\text{кол}}$ – радиус ходового колеса, м.

Мощность силовой установки машины в общем случае расходуется на привод:

– м*еханизма передвижения в рабочем режиме*;
– *фрезерного барабана;*
– *распределительного шнека;*
– с*месителя;*
– *трамбующего бруса;*
– *выглаживающей плиты;*
– *вспомогательных механизмов.*

Для определения мощности (кВт) используют следующие выражения:

1) *для механизма перемещения* рециклера

$$N_{\text{пер}} = W\upsilon_{\text{р}} / (1000\eta_{\text{т}})\,, \tag{7.18}$$

где $\upsilon_р$ – скорость рабочего хода, м/с;

$\eta_т$ – КПД трансмиссии рециклера;

2) *для привода фрезы*

$$N_{фр} = W_{фр}\omega_{фр}R_{фр}/(1000\eta_{пф}), \qquad (7.19)$$

где $\omega_{фр}$ – угловая скорость вращения фрезерного барабана, $\omega_{фр} \le 0{,}15$ рад/с ;

$R_{фр}$ – радиус фрезы по режущим зубьям, м;

$\eta_{пф}$ – КПД привода фрезы;

3) *для привода распределительного шнека*

$$N_ш = к_{см}к_ш g z_ш L_ш П_ш/(3600\eta_ш), \qquad (7.20)$$

где $к_{см}$ – коэффициент, учитывающий напор смеси при движении рециклера, $к_{см} = 3$;

$к_ш$ – коэффициент сопротивления при работе шнека, $к_ш = 4…5$;

$z_ш$ – число шнеков;

$L_ш$ – путь перемещения смеси вдоль шнеков по ширине (для двух шнеков $L_ш = B$), м;

$П_ш$ – производительность шнека, равная производительности рециклера по укладке смеси, т/ч.

$\eta_ш$ – КПД привода шнека, $\eta_ш = 0{,}9$;

4) *для привода смесителя*

$$N_{см} = к_д g Q_{см}\upsilon_л, \qquad (7.21)$$

где $к_д$ – коэффициент динамичности при пуске смесителя под нагрузкой, $к_д = 2{,}0…2{,}5$;

$Q_{см}$ – вместимость смесителя, т,

$\upsilon_л$ – линейная скорость конца лопасти смесителя, м/с,

$$Q_{см} = П_{см}t_{см}/60,$$

$П_{см}$ – техническая производительность смесителя, т/ч,

$$П_{см} = 1{,}6\ П_{фр},$$

$П_{фр}$ – техническая производительность рециклера по фрезерованию, т/ч;

$t_{см}$ – время нахождения смеси в смесителе, мин.

Техническая производительность (т/ч) *рециклера по фрезерованию*

$$П_{фр} = 3600\rho_{АБ}b_ф h_ф \upsilon_р, \qquad (7.22)$$

где $\rho_{АБ}$ – плотность АБ смеси, $\rho_{АБ}$ = 2200…2300 кг/м^3;

5) *для привода трамбующего бруса*

$$N_{бр} = N_{бр}^{уд} b_{бр}, \qquad (7.23)$$

где $N_{бр}^{уд}$ – удельная мощность на привод трамбующего бруса, $N_{бр}^{уд}$ = 0,4…0,6 кВт/м;

$b_{бр}$ – длина трамбующего бруса, равная ширине укладки слоя, м;

6) *для привода вибрационной плиты*

$$N_{пл} = N_{вв} z_{вв}, \qquad (7.24)$$

где $N_{вв}$ – мощность привода одного вибровозбудителя с дебалансом, равным 1,5…2,0 мм, $N_{вв}$ = 1,0…1,5 кВт;

$z_{вв}$ – число вибровозбудителей на плите;

7) *для привода вспомогательных механизмов*

$$N_{всп} = 1{,}5…2{,}0 \text{ кВт}. \qquad (7.25)$$

Таким образом, общая мощность, затрачиваемая на рабочий процесс,

$$N_{дв} = N_{пер} + N_{фр} + n_{ш} N_{ш} + N_{см} + n_{бр} N_{бр} + n_{пл} N_{пл} + N_{вс}, \qquad (7.26)$$

где $n_{ш}$, $n_{бр}$, $n_{пл}$ – число шнеков, брусьев и плит соответственно.

Эксплуатационную производительность рециклера можно определить в зависимости от поставленной задачи по формулам

$$П_{рц} = 3600 к_{в} b_{ф} \upsilon_{р} \ (м^2/ч) \qquad (7.27)$$

или

$$П_{рц} = 3600 к_{в} b_{ф} h_{ф} \upsilon_{р} \ (м^3/ч). \qquad (7.28)$$

8 МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

8.1 Особенности технологических процессов ремонта дорожных покрытий

Ремонт дорожных покрытий является затратным мероприятием и требует освоения ресурсосберегающих технологий, направленных на сохранение или улучшение технико-эксплуатационных характеристик покрытий, а также на увеличение срока службы дорожной одежды и дороги в целом.

Ремонтом дорожных покрытий называют комплекс мероприятий по устранению дефектов покрытий, который обеспечивает поддержание или повышение их работоспособности. В зависимости от значимости поставленных и решаемых задач (сохранения, восстановления или улучшения технико-эксплуатационных показателей) различают текущий, средний и капитальный ремонт асфальто- и цементобетонных покрытий.

Текущий ремонт АБ покрытий состоит в выполнении работ по восстановлению технико-эксплуатационных характеристик покрытий и включает устранение отдельных повреждений и разрушений покрытий в виде трещин, выбоин, просадок, сдвигов, наплывов и колей. Трещинообразование является одной из основных причин развития более серьезных повреждений покрытий. Поэтому своевременное устранение трещин способствует сохранению их работоспособности.

Как правило, основные дорожные работы выполняют в весенне-летний период при температуре не ниже 5 ^{o}С. При крайней необходимости ремонтные работы производят осенью.

Основные методы текущего ремонта можно разделить на следующие группы:

1) при отсутствии разрывов покрытий *разогрев дефектных участков* (волн, бугров, наплывов и др.) *с последующим уплотнением*;

2) при наличии разрывов покрытий в виде трещин:

а) для мелких (неглубоких) трещин – *разогрев и уплотнение*;

б) для глубоких узких трещин (шириной до 5 мм) – *очистка, просушка и заполнение вяжущим (битумной эмульсией или мастикой);*

в) для глубоких средних и широких трещин (шириной более 5 мм):

– с неповрежденной кромкой – *очистка, просушка, заливка вяжущим и присыпка дробленым сухим песком*;

– с поврежденной кромкой – *разделка (расширение), очистка, просушка, заливка вяжущим и присыпка;*

3) при наличии ям и выбоин – *ямочный ремонт* по методам «горячего» и «холодного» восстановления (рециклинга), а также с использованием метода «залитого щебня».

Термины «горячее» и «холодное» восстановление означают, что вяжущие компоненты ремонтных материалов находятся в исходном состоянии при различных температурах. «Горячее» восстановление производят при температуре нагрева битума до 120–160 ^{o}С, «холодное» – при температуре окружающей среды, но не ниже 5 ^{o}С.

При выборе метода устранения повреждений большое значение имеет их протяженность. В частности, при наличии на покрытии сетки мелких трещин требуется ремонт всего покрытия. Если же эта сетка трещин связана с потерей устойчивости земляного полотна, то необходим ремонт основания дорожной одежды. Эти соображения относятся и к другим дефектам, в том числе выбоинам. Если они находятся на небольшом расстоянии друг от друга, их объединяют в одну общую карту ремонта.

Средний ремонт АБ покрытий состоит в производстве дорожных работ по восстановлению и улучшению технико-эксплуатационных характеристик покрытий. Этот вид ремонта включает периодическое восстановление слоя износа покрытия и создание шероховатой поверхности покрытия. Для этого используют поверхностную обработку покрытий по методам раздельного или синхронного распределения щебня заданной фракции и вяжущего.

Капитальный ремонт АБ покрытий – это комплекс мероприятий, направленных на полное восстановление и повышение работоспособности покрытий за счет ремонта покрытий, других слоев дорожной одежды или даже земляного полотна. Капитальный ремонт может производиться как с удалением, так и без удаления покрытия. В настоящее время используют два основных вида капитального ремонта АБ покрытий:

1) восстановление покрытий традиционным способом, т.е. укладкой и уплотнением горячей АБ смеси, приготовленной на заводе из новых, не использованных ранее компонентов;

2) восстановление покрытий за счет повторного (частичного или полного) использования материала старого покрытия.

Текущий ремонт ЦБ покрытий включает заделку поврежденных швов и трещин, выбоин и раковин, устранение местных просадок и смещения смежных плит, а также шелушения поверхностных слоев.

Средний ремонт ЦБ покрытий состоит в замене отдельных плит или пришедших в негодность их частей, устранении перекосов и проседаний плит, ремонте их стыков и др. В ряде случаев на отдельных участках дороги формируют слои поверхностной обработки.

Капитальный ремонт ЦБ покрытий, как правило, состоит в упрочнении имеющегося покрытия нанесением дополнительного слоя АБ или ЦБ покрытий. Предпочтение отдают АБ покрытиям, имеющим высокую ремонтопригодность.

8.2 Машины для текущего ремонта асфальтобетонных покрытий

Из технологических процессов текущего ремонта наиболее распространенными являются технологии ямочного ремонта. В свою очередь к наиболее востребованным относятся методы укладки следующих ремонтных материалов:

1) мелкозернистых асфальтобетонных смесей;

2) литого асфальтобетона;

3) эмульсионно-минеральных смесей.

Ямочный ремонт состоит из следующих основных операций:

– формирование карты ямочного ремонта, т.е. прямоугольного выреза АБ покрытия при помощи дорожной фрезы или отбойного молотка;

– очистка карты сжатым воздухом при помощи компрессора или пневмовакуумной подметально-уборочной машины (при необходимости промывка водой с последующей сушкой сжатым воздухом);

– грунтовка поверхностей карты битумом или битумной эмульсией;

– укладка АБ смеси и заполнение ремонтируемой карты с запасом на уплотнение;

– уплотнение уложенной смеси виброплитой или виброкатком.

Для обеспечения комплексной механизации работ по ямочному ремонту с применением указанных ремонтных материалов используют специализированные машины или комплекты машин и дополнительного оборудования, которые обеспечивают выполнение всех или некоторых операций по ямочному ремонту.

Эти машины классифицируют по виду ремонтных работ, по типу рабочего оборудования и его привода, а также по способу передвижения. В таблице 8.1 представлены варианты комплектов отечественных машин и оборудования для ямочного ремонта и ремонта трещин.

Для ямочного ремонта используют *навесные фрезы* на базе пневмоколесного трактора. Их разделяют по следующим основным признакам:

1) *по назначению* – для разделки трещин и выработки карты;

2) *по приводу фрезерного барабана* – с механическим и гидравлическим приводом;

3) *по типу барабана* – с неподвижным и подвижным в поперечном направлении;

4) *по типу опорного устройства* – с опорными роликами и скользящими траверсами.

Таблица 8.1 – **Машины и оборудование для текущего ремонта асфальтобетонных покрытий**

Операция	Техническое средство	Модель	Изготовитель
Ямочный ремонт			
Оконтуривание	Нарезчик швов	Амкодор 80172 НО-65	«Амкодор» «Белдортехника»
Выработка карты	Фреза	Амкодор 8047 А	«Амкодор»
Продувка и грунтовка	Компрессор и заливщик швов	Ремонтер Амкодор 80281	«Амкодор»
Уплотнение	Виброкаток, виброплита	Виброкатки Амкодор 6122 и ВА-252, виброплита Амкодор 60221, ПВ-1	«Амкодор» «Белдортехника»
Ремонт трещин			
Разделка трещин	Узкая фреза	Фреза Амкодор 8072	«Амкодор»
Продувка и заливка	Компрессор и заливщик	Ремонтер Амкодор 80281	«Амкодор»
Ямочный ремонт			
Методом набрызга	Оборудование «Savalko»	Шасси МАЗ	«МАЗ»
Комплексный	Универсальная установка	УДВ-2000	«Дорвектор»

На рисунке 8.1 приведена конструктивная схема фрезы типа «Амкодор 8047А». Фрезу с неподвижным барабаном 2 крепят при помощи рамы 3 к заднему мосту трактора МТЗ-82. Привод рабочего оборудования осуществляют от вала отбора мощности трактора через конический и цилиндрический редукторы. В рабочем положении фрезерное оборудование опирается на два опорных ролика 1, что повышает точность технологических операций. Управление положением фрезы (подъем-опускание) производят при

помощи двух гидроцилиндров 4. Машина оснащена системой водяного охлаждения с принудительной подачей воды. Ее производительность составляет до 2000 м^3 в смену при ширине фрезерования 0,4 м.

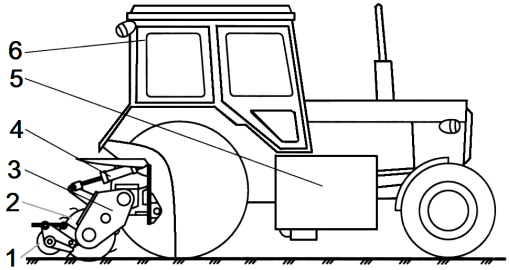


Рисунок 8.1 – Конструктивная схема навесной дорожной фрезы:
1 – опорный ролик; 2 – фрезерное оборудование; 3 – рама фрезы; 4 – гидроцилиндр управлением положения фрезы; 5 – коробка передач; 6 – базовый трактор

На рисунках 8.2 и 8.3 приведены конструктивная и кинематическая схемы подобного фрезерного оборудования (типа МА-03 производства «Мосгормаш»), которое также устанавливают на шасси трактора МТЗ. Фрезерный барабан 9 с резцами 10 прикрепляют при помощи опорного кронштейна 1 к заднему мосту трактора (см. рисунок 8.2).

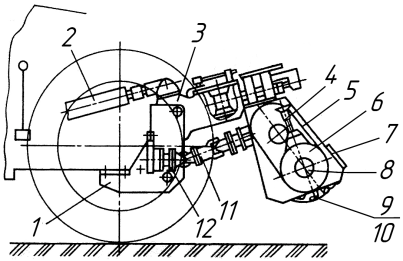


Рисунок 8.2 – Конструктивная схема фрезерного оборудования:
1 – опорный кронштейн; 2 – гидроцилиндр; 3 – поворотный кронштейн;
4 – винтовая передача; 5 – траверса;
6 – опорное колесо; 7 – кожух; 8 – шпиндель;
9 – барабан; 10 – резец; 11 – карданный вал;
12 – фланец приводного механизма

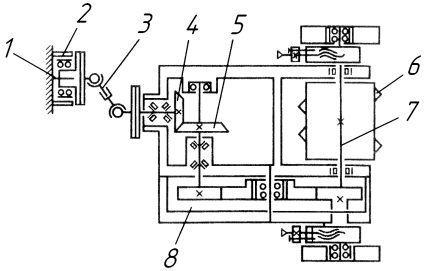


Рисунок 8.3 – Кинематическая схема привода фрезерного барабана:
1– вал отбора мощности; 2 – приводной механизм; 3 – карданный вал;
4, 5 – коническая передача; 6 – резец;
7 – шпиндель; 8 – бортовой редуктор

Перевод оборудования из транспортного (показано на рисунке) в рабочее положение осуществляют при помощи гидроцилиндров 2 и поворотного кронштейна 3. Его привод включает фланец 12, установленный на вал отбо-

ра мощности трактора, и карданный вал 11. На траверсах 5 установлены два опорных колеса 6, которые имеют возможность перемещаться посредством винтовой передачи 4 в вертикальной плоскости относительно барабана.

Крутящий момент (см. рисунок 8.3) от вала отбора мощности 1 трактора через карданный вал 3, коническую передачу 4, 5 и бортовой редуктор 8 передается на шпиндель 7 и фрезерный барабан с резцами 6.

В таблице 8.2 приведены технические характеристики навесных фрез малого типоразмера производства «Амкодор» на шасси тракторов МТЗ. Их используют в основном для ямочного ремонта АБ покрытий или для других небольших по объему дорожных работ.

Таблица 8.2 – **Технические характеристики навесных дорожных фрез**

Модель	Ширина резания, мм	Глубина резания, мм	Масса, т	Особенности конструкции *
Амкодор 8072	70 (одной фрезой)	250	5,9	Число фрез – 2, диаметр – 1200 мм
Амкодор 8072-40	70 (одной фрезой)	250	6,15	
Амкодор 8047 А	400	65	5,5	Привод вращения фрезы от заднего ВОМ шасси
Амкодор 8047 А-01	400	65	5,5	
Амкодор 8047 А-02	400	65	5,135	
Амкодор 8048 А	400	100	5,135	Привод вращения и перемещения фрезы от гидросистемы трактора; поперечное перемещение фрезы от центра – на 0,9 м
Амкодор 8048 А-02	400	100	5,135	
* Модели имеют различное съемное рабочее оборудование.				

Как видно из таблицы, некоторые модели имеют фрезы с поперечным перемещением барабана.

На рисунке 8.4 представлена конструктивная схема фрезы модели «Амкодор 8048 А» с поперечным перемещением рабочего органа. Фрезерный барабан 9 с помощью гидроцилиндров 7 можно устанавливать в пределах габаритов направляющих 10, не меняя положения трактора, что значительно расширяет технологические возможности фрезы при разработке карты для ямочного ремонта. В рабочем положении машина опирается на траверсы 5, что обеспечивает точность выработки карты. Привод вращения и перемещения барабана осуществляют от гидросистемы трактора. При этом частоту вращения барабана можно регулировать в интервале от 0 до 1800 об/мин при максимальном крутящем моменте до 2,4 $кН \cdot м$.

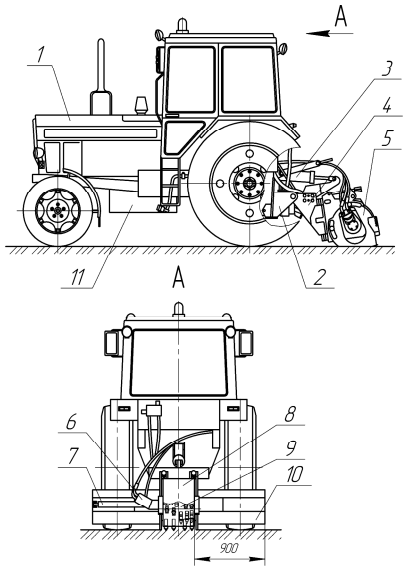


Рисунок 8.4 – Конструктивная схема навесной фрезы с поперечным перемещением барабана:
1 – базовый трактор; 2 – опорный кронштейн; 3 – гидроцилиндр подъема-опускания фрезерного оборудования;
4 – поворотный кронштейн;
5 – траверса; 6 – гидромотор;
7 – гидроцилиндр поперечного перемещения фрезерного барабана;
8 – кожух; 9 – фрезерный барабан;
10 – направляющая рама; 11 – система орошения

При оценке основных параметров фрезы производят тяговый и энергетический расчеты, рассчитывают гидравлическую систему трактора с учетом наличия фрезы и подбирают гидрооборудование для управления рабочими органами.

Тяговый расчет проводят на основе анализа уравнения тягового баланса. Общая сила сопротивления включает следующие сопротивления:

– фрезерованию холодного асфальтобетона $W_ф$;

– перемещению трактора $W_{пер}$.

Сопротивление фрезерованию (Н) *холодного асфальтобетона* определяют по формуле

$$W_ф = k_р b_ф h_ф , \qquad (8.1)$$

где $k_р$ – коэффициент удельного сопротивления фрезерованию холодного асфальтобетона, $k_р$ = 4…10 МПа;

$b_ф$ – ширина барабана фрезы, м;

$h_ф$ – глубина фрезерования, м.

Сопротивление перемещению трактора (Н)

$$W_{пер} = (f_1 + i)G_р , \qquad (8.2)$$

где f_1 – коэффициент сопротивления перемещению трактора, f_1 = 0,06…0,12;

i – уклон пути, i = 0,03…0,07;

$G_р$ – сила тяжести рециклера, Н.

Для преодоления сил сопротивления, возникающих при работе машины, должно выполняться условие

$$T \geq W , \qquad (8.3)$$

где T – сила тяги трактора, Н;

$$W = W_{ф} + W_{пер}.$$

Зная мощность силовой установки, можно определить силу тяги из выражения

$$T = \eta_{тр} u_{тр} N_{дв} / (n_{кол} \omega_{д} r_{кол}), \qquad (8.4)$$

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

$u_{тр}$ – передаточное число трансмиссии;

$N_{дв}$ – мощность двигателя, Вт;

$n_{кол}$ – число ведущих колес; $n_{кол} = 2$;

$\omega_{д}$ – угловая скорость вращения вала двигателя, $с^{-1}$;

$r_{кол}$ – радиус ведущего колеса, м.

Мощность силовой установки трактора в общем случае расходуется на привод механизма передвижения и привод фрезерного барабана.

Мощность (кВт) *привода механизма перемещения*

$$N_{пер} = W \upsilon_{р} / (1000 \eta_{т}), \qquad (8.5)$$

где $\upsilon_{р}$ – скорость рабочего хода, м/с;

$\eta_{т}$ – КПД трансмиссии трактора.

Мощность (кВт) *привода фрезы* оценивают по формуле

$$N_{фр} = W_{фр} \omega_{фр} R_{фр} / (1000 \eta_{пф}), \qquad (8.6)$$

где $\omega_{фр}$ – угловая скорость вращения фрезерного барабана, $с^{-1}$;

$R_{фр}$ – радиус фрезы по режущим зубьям, м;

$\eta_{пф}$ – КПД привода фрезы.

Машины для укладки мелкозернистых АБ смесей работают *по методу «горячего» восстановления покрытий.* Они имеют разную комплектность дополнительного оборудования, а также различные *рабочие органы*, распределяющие смесь (*разбрасывающий диск, распределительную тележку с лотком или разгрузочный шнек).*

Самой простой по конструкции является комбинированная дорожная машина (КДМ), приведенная на рисунке 8.5, которая позволяет реализовать только одну операцию ремонта – распределение смеси при помощи разбрасывающего диска 6. Она представляет собой кузов 1, смонтированный на раме 3, которая крепится к шасси автомобиля при помощи стремянок. Материал из кузова перемещается цепным транспортером к заднему борту, который оборудован шиберной заслонкой, регулирующей расход материала. Затем он попадает на разбрасывающий диск и распределяется по обрабатываемой поверхности. Привод транспортера и разбрасывающего диска осуществляют гидромоторами от гидросистемы базового шасси.

Кузов для материала не имеет возможности обогрева, что приводит к быстрому остыванию АБ смеси. Кроме того, неравномерность подачи материала с

помощью диска требует дополнительного применения ручного инструмента для заполнения карты смесью. Поэтому машины данного типа используют преимущественно при зимнем содержании автодорог (для разбрасывания противогололедных материалов), комплектуя их отвалом для уборки снега.

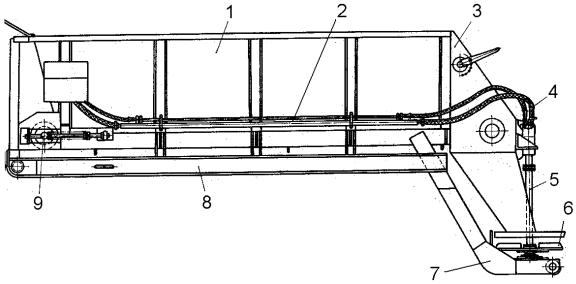


Рисунок 8.5 – Конструкция машины КДМ:
1 – кузов; 2 – транспортер; 3 – задний борт; 4 – гидросистема; 5 – вал диска;
6 – разбрасывающий диск; 7 – раздаточный лоток; 8 – рама; 9 – привод транспортера

Более широкими возможностями располагают машины ДЭ-5 и ДЭ-5А, а также МТРД и МТРДТ, смонтированные на шасси грузового автомобиля. Они различаются между собой типом привода (электрическим или пневматическим) дополнительного рабочего оборудования, которое позволяет проводить большинство операций ямочного ремонта.

На рисунке 8.6 приведена конструктивная схема машины ДЭ-5А. Она содержит бункер-термос 1 для горячей АБ смеси, оборудованный распределительной тележкой 9 для материала, емкости для минерального порошка 14 и битумной эмульсии 16, а также газовое оборудование (газовые баллоны 11 с регулятором давления) с блоком горелок ИК-излучения 12. Перевод бункера-термоса из транспортного в рабочее положение производят гидроприводом. Машина ДЭ-5А имеет пневматический привод рабочего оборудования (от компрессора). Привод 6 компрессора 3 осуществляют от двигателя базового шасси через коробку отбора мощности, редуктор, карданную и ременную передачи. На редукторе привода компрессора установлен гидронасос, обеспечивающий работу гидрооборудования машины.

Модель ДЭ-5 отличается от модели ДЭ-5А наличием автономной электрогенераторной установки для привода рабочего оборудования (компрессора, электровиброкатка, отбойного электромолотка). Привод рабочего оборудования осуществляют от асинхронных трехфазных электродвигателей с короткозамкнутыми роторами.

Конструкции этих машин позволяют ремонтировать покрытие двумя способами:

во-первых, «горячим» способом – нагревом ремонтируемого участка до температуры 120–160 °С ИК-излучателями, последующим смешением разогретой смеси старого покрытия с порцией новой смеси из бункер-термоса, разравниванием и укаткой ручным виброкатком;

во-вторых, «холодным» способом – механической вырубкой старого покрытия, очисткой полученной карты сжатым воздухом и заполнением ямы новой смесью из бункер-термоса с последующим уплотнением смеси ручным катком.

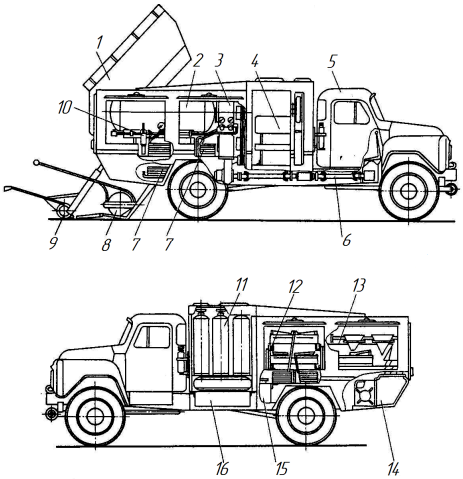


Рисунок 8.6 – Конструкция машины для ямочного ремонта ДЭ-5А:
1 – бункер-термос; 2 – ресивер; 3 – компрессор; 4 – кабина обслуживающего персонала; 5 – базовое шасси; 6 – привод компрессора; 7 – рукава; 8 – ручной виброкаток; 9 – ковш-тележка; 10 – ручной пневмоинструмент; 11 – газовый баллон; 12 – блок горелок инфракрасного излучения; 13 – рабочий инструмент;14 – емкость для минерального порошка; 15 – гидробак; 16 – емкость для битумной эмульсии

Примерно такими же технологическими возможностями располагают машины МТРДТ и МТРД. На рисунке 8.7 приведена конструктивная схема одной из них. Она также оснащена бункером-термосом 2 для горячей АБ смеси с распределительной тележкой для материала, а также обогреваемым баком 8 для битума с устройством для его перемешивания. Кроме того, машина МТРДТ оборудована электрогенератором 4 с приводом от двигателя базового шасси, который обеспечивает электроэнергией рабочее оборудование (компрессор, отбойные электромолотки, электровибротрамбовку, электровиброкаток). Привод электрогенератора осуществляют от двигателя базового шасси через коробку отбора мощности, карданную и клиноременную передачи.

Рабочее оборудование позволяет ремонтировать АБ покрытие «горячим» способом с помощью электроразогревателя и электроутюга. Ямочный ремонт производят вырубкой и разогревом старого покрытия, очисткой карты от вырубленных фрагментов асфальтобетона ручным скребком и сжатым воздухом, обработкой ямы распыленным горячим битумом, укладкой новой АБ смеси и ее уплотнением с последующей спайкой нового и старого покрытия по контуру карты.

Машина МТРД имеет компрессор, питающий рабочее оборудование сжатым воздухом.

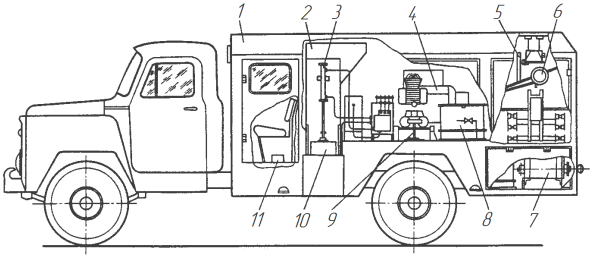


Рисунок 8.7 – Конструкция машины для ямочного ремонта МТРДТ:
1 – кузов; 2 – бункер; 3 – гидросистема; 4 – генератор; 5 – лестница; 6 – таль ручная; 7 – виброкаток; 8 – бак битумный; 9 – компрессор; 10 – затвор; 11 – утюг электрический

Помимо указанных машин, в СНГ производят установки моделей ЭД-105.1 и ЭД-105.1А для ямочного ремонта, которые различаются между собой типом базового шасси и набором рабочего оборудования. Конструкция обеих моделей включает бункер-термос для горячей АБ смеси и битумный котел, компрессор, пневмоинструмент (отбойный молоток) и распылитель битума, а также дополнительную кабину для перевозки обслуживающего персонала. Для уплотнения уложенной смеси модель ЭД-105.1 имеет виброплиту с автономным приводом, а модель ЭД-105.1А – ручной каток. В состав модели ЭД-105.1 входит также обрезчик кромок.

Наряду с указанными машинами, дорожные предприятия страны эксплуатируют импортное оборудование, технические характеристики которого приведены в таблице 8.3. Машины ведущих производителей содержат, как правило, упомянутый ранее набор основных агрегатов и дополнительного рабочего оборудования. Например, машину ТР-4 монтируют на шасси грузового автомобиля грузоподъемностью не менее 10 т. Приводы основных механизмов и агрегатов осуществляют от гидросистем, а подачу сжатого воздуха – от пневмосистемы базового шасси. В числе основных агрегатов машины:

– бункер-термос для АБ смеси, имеющий две системы обогрева (газовую и электрическую) и оборудованный мешалкой для перемешивания и шнеком для выгрузки смеси;

– обогреваемый бак для битумной эмульсии с системой распыления;

– устройство с контейнером для сбора раздробленного старого асфальтобетона;

– ручная горелка для удаления влаги и подогрева кромок карты;

– гидроуправляемая подъемная платформа с отбойным молотком для вырубки кромок карты и виброплитой для уплотнения уложенной смеси;

– ручной распылитель с форсункой для распыления битумной эмульсии для подгрунтовки поверхностей ямы.

Основные характеристики рассмотренных машин для ямочного ремонта покрытий с использованием мелкозернистых АБ смесей представлены в таблице 8.3.

Таблица 8.3 – **Технические характеристики машин для ямочного ремонта покрытий укладкой мелкозернистого асфальтобетона**

Параметр	КДМ	ДЭ-5	ДЭ-5А	МТРД	МТРДТ	ЭД?105.1А	ЭД?105.1	SSG 25 Teltomat	TP?4 AKZO NOBEL
Базовое шасси	ЗИЛ-130	ГАЗ-53А	ГАЗ-53А	ГАЗ-53А	ГАЗ-53А	ЗИЛ	КАМАЗ	Любое – г/п 8,0 т	ЗИЛ
Производительность, $м^2$/смена	40	80	90	30	40	60	60	55	60
Вместимость бункера, $м^3$	2,7	0,8	1,0	0,755	0,755	3,0	3,0	1,7	4,0
Вместимость емкости для вяжущего, $м^3$	–	0,09	–	0,05	0,025	0,6	0,6	0,25	0,3
Тип разогревателя	–	Газовый	Газовый	–	Электро	–	–	–	–
Виброкаток	–	Электро	Пневмо	-	Электро	Ручной	Вибро-плита	Вибро-плита	Вибро-плита
Мощность генератора, кВт	–	4,0	-	12,0	20,0	–	–	20,0	–
Производительность компрессора, $м^3$/мин	–	0,5	1,0	1,0	0,5	0,8	1,0	-	1,0
Рабочее давление пневмосистемы, МПа	–	0,6	0,7	0,35	0,6	0,7	0,7	-	0,7
Тип отбойного молотка	–	Электро	Пневмо	Пневмо	Электро	–	–	Электро	Пневмо
Масса оборудования, кг	1500	7400	7400	6800	6800	2700 (без шасси)	3650 (без шасси)	3000 (без шасси)	16300

Важной проблемой является переработка гранулята старого асфальтобетона, который образуется при вырубке карт ремонтируемой ямы и фрезеровании поврежденного покрытия. Для этого производят специальное оборудование, в их числе малогабаритные рециклеры, которые выпускают у нас в стране и за рубежом. Например, установка для регенерации асфальтобетона ПМ-107 (производства «Белдортехники») смонтирована на тележке, прицепной к трактору или грузовому автомобилю. Она снабжена вращающейся теплоизолированной емкостью, в которой происходит разогрев гранулята с добавлением битума и минерального материала (щебня, отсева), а также перемешивание получаемой смеси. Емкость имеет с одной стороны загрузочный бункер, а с другой – разгрузочное окно с задвижкой, через которую приготовленная смесь выгружается в распределительную тележку или непосредственно в ремонтируемую яму. Вращение емкости осуществляют гидромотором от гидронасоса с приводом от автономного двигателя. Для подогрева смеси в передней части емкости установлена горелка, работающая на дизельном топливе. Подобную конструктивную схему имеют агрегаты для переработки асфальтобетона АПА-1 («Волковысского завода кровельных и строительно-отделочных машин»).

Основные технические характеристики отечественных рециклеров для переработки асфальтового гранулята приведены в таблице 8.4.

Таблица 8.4 –**Основные технические характеристики рециклеров для переработки асфальтового гранулята**

Параметр	ПМ-107	АПА-1
Производительность, т/ч	1,2	1,5
Мощность, кВт	8,2	–
Максимальная температура разогрева смеси, ^{0}С	200	160
Расход топлива подогревателем, л/ч	12,2	10,0
Масса загружаемого материала, кг	350	350
Габаритные размеры, м: – длина – ширина – высота	 4,6 1,9 1,7	 4,0 2,0 1,7
Масса в снаряженном состоянии, т	2,6	2,5

Машины для ямочного ремонта укладкой литого асфальтобетона также работают *по методу «горячего» восстановления покрытий***.**

Для ямочного ремонта укладкой литого асфальтобетона применяют тер-

мос-миксеры – теплоизолированные обогреваемые бункеры, оборудованные механизмами перемешивания и выгрузки литой асфальтобетонной смеси. Их целесообразно классифицировать по следующим признакам:

1) *по типоразмеру* ($м^3$) – малой (< 4,5), средней (до 9) и большой (> 9) вместимости;

2) *по расположению вала смесителя* – горизонтальное и вертикальное;

3) *по типу привода смесителя* – с механическим от автономного двигателя или гидромеханическим от гидросистемы базового шасси;

4) *по цикличности работы* – с непрерывной, порционной и комбинированной выдачей смеси;

5) *по форме емкости* – корытообразные и бочкообразные.

Их монтируют на автомобильном шасси соответствующей грузоподъемности.

Дорожными организациями страны эксплуатируются термос-миксеры различных производителей. Их основные технические характеристики приведены в таблице 8.5.

Типичная конструкция термос-миксера (модели ОРД) представлена на рисунке 8.8. Машина имеет теплоизолированную кожухом 3 емкость 4 со смесителем 5. Обогрев емкости осуществляют через жаровые трубы 6, 7 два автоматических подогревателя 15, которые работают на жидком топливе. Гидромеханический привод 10 от автономного двигателя 13 обеспечивает реверсивное вращение вала смесителя 5. Изменение положения емкости осуществляют с помощью двух гидроцилиндров подъемника 14. Благодаря возможности реверса смесителя при транспортировании смешение смеси сопровождается ее нагнетанием к передней стенке, а при разгрузке – к задней, где расположено отверстие для выгрузки, оборудованное шиберной заслонкой.

Значительно расширяются технологические возможности термос-миксеров при наличии комбинированной системы выдачи смеси как порционным, так и поточным методами. Такая система позволяет использовать их как для ямочного ремонта, так и для капитального ремонта дорожных покрытий. В ряде моделей термос-миксеров предусмотрен дублированный привод, что значительно повышает надежность машины и позволяет выбирать оптимальный режим работы смесителя в зависимости от технологической задачи. Некоторые модели, представленные в таблице 8.5, имеют систему бесступенчатого регулирования частоты вращения вала смесителя, что позволяет эффективно смешивать органические и минеральные вяжущие с различными материалами, в том числе с минеральными наполнителями, регенерированным асфальтовым гранулятом, резиновыми и полимерными модификаторами.

Таблица 8.5 – **Технические характеристики термос-миксеров для ямочного ремонта литой асфальтобетонной смесью**

Параметр	ОРД-1023	ОРД-1023. 1,2,3,4,5	ОРД-1023.1.К	ОРД-1025	ОРД-1025. 1,2,3,4,5	ОРД-1025.М	ОРД 1025.1.М	ОРД-1026	ОРД-1026.1	КДМ-1501	КДМ-1502
Вместимость емкости, т	4,5	До 6,0	6,0	8,0	До 9,0	8,0	9,0	10,6	До 14,0	6,6	8,2
Привод смесителя	От КОМ автомобиля			Дублированный (от автономного двигателя и КОМ автомобиля)						От автономного ДВС	
Частота вращения вала смесителя, об/мин	4–6	4–6	4–6	4–10	4–10	4–10	4–10	4–10	4–10	–	–
Расход топлива для нагрева емкости, л/ч	2	2	4	4	4	4	4	6	6	6,5	6,5
Мощность одного подогревателя, кВт	25	25–45	45	45	45	45	45	60	60–80	–	–
Масса, т	2,7		3,3	3,7		3,8		4,7		1,3	1,9

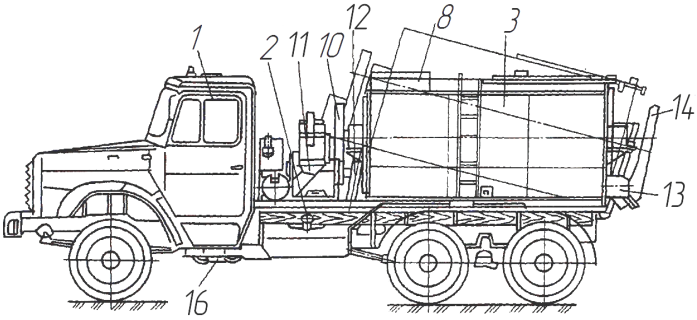
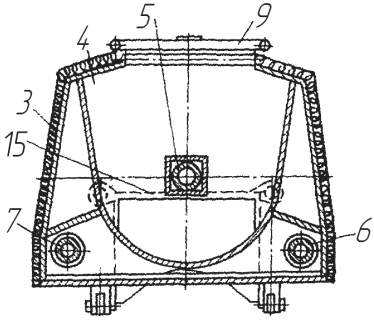


Рисунок 8.8 – Конструкция термосмиксера типа ОРД:
1 – шасси; 2 – рама; 3 – теплоизолированный кожух; 4 – емкость; 5 – смеситель; 6, 7 – жаровые трубы; 8 – дымоход; 9 – крышка; 10 – привод смесителя; 11 – – автономная силовая установка; 12 – подъемник; 13 – подогреватель; 14 – лоток для укладки смеси; 15 –термодатчик; 16 – устройство для отбора мощности



Машины для ямочного ремонта укладкой эмульсионно-минеральных смесей реализуют *метод «холодного» восстановления покрытий.* При производстве ямочного ремонта автомобильных дорог укладкой эмульсионно-минеральных смесей (ЭМС) используют:

– укладку предварительно приготовленных ЭМС;

– механизированную укладку ЭМС при смешивании компонентов в рабочем органе машины.

Для укладки предварительно приготовленных ЭМС (затаренных или приготовленных непосредственно на объекте производства работ) применяют следующие машины и оборудование:

1) стационарную или мобильную установку для приготовления смеси;

2) компрессор с набором отбойных молотков или дорожную фрезу для вырубки кромок ямы;

3) оборудование для укладки ЭМС в яму;

4) виброплиту или ручной виброкаток для уплотнения уложенной в яму ЭМС;

5) транспортное средство для перевозки ЭМС с базы на объекты производства работ.

Для механизированной укладки ЭМС (по второму методу) используют следующую технику:

1) компрессор или дорожную фрезу;

2) машину для приготовления, укладки и уплотнения ЭМС;

3) виброплиту или виброкаток.

Механизированную укладку осуществляют путем *пневматического транспортирования, совмещения и распределения компонентов* ЭМС (этот вид укладки называют *методом пневмонабрызга*). Его сущность состоит в том, что совмещение компонентов осуществляют в машине при транспортировке битумной эмульсии сжатым воздухом от компрессора под давлением до 1 МПа. В результате образуется эмульсионное облако в распылительном сопле рабочего органа машины, проходя через которое частицы щебня обволакиваются эмульсией. Обработанные частицы на выходе из сопла имеют скорость до 30 м/с, что обеспечивает хорошее уплотнение ремонтного материала в яме.

Машины для механизированной укладки ЭМС совмещают несколько технологических операций ямочного ремонта. Все основные операции (приготовление смеси, ее укладка в ремонтируемую яму и уплотнение) осуществляются потоком воздуха. Рабочее оборудование машин для механизированной укладки ЭМС включает бункеры для минеральных материалов (щебня различных фракций) и битумной эмульсии, систему пневматической подачи исходных компонентов (минеральных материалов и битумной эмульсии) в зону укладки, их распределения и уплотнения.

Оборудование этих машин можно классифицировать по следующим основным признакам:

1) *по способу расположения рабочего оборудования* – навесные, прицепные и полуприцепные;

2) *по приводу воздуходувки* – от автономной силовой установки или от вала отбора мощности базового шасси;

3) *по комплектации вспомогательного оборудования* – с устройством для очистки щебня, с системой для модифицирования щебня, с уплотнительным устройством (вибро- или пневмотрамбовкой, ручным катком).

Основные технические характеристики машин и установок для ямочного ремонта механизированной укладкой ЭМС представлены в таблице 8.6. Конструкции этих машин отличаются набором комплектующих изделий и расположением (навесным, прицепным и полуприцепным) агрегатов рабочего оборудования. В качестве примера можно привести установку немецкой фирмы «Schafer», которая включает установленные на прицепном шасси двухсекционный бункер для щебня, отдельные баки для воды и битумной эмульсии, дизельный двигатель, приводящий гидросистему шнеков подачи щебня из бункера в щебнепровод, компрессор пневмосистемы и воздуходувку. Она создает поток воздуха, при помощи которого щебень подают по

щебнепроводу в рабочий орган (сопло) и смешивают с битумной эмульсией, подаваемой из бака диафрагменным насосом. Получаемую ЭМС непрерывно укладывают в ремонтируемую яму, предварительно очищенную водой от грязи и засорителей.

Значительно возрастает долговечность асфальтобетона при ямочном ремонте, если исходные компоненты предварительно активируют перед смешением. В частности, обработка щебня анионными поверхностно-активными веществами (ПАВ) существенно повышает показатели физико-механических и эксплуатационных свойств ЭМС за счет усиления адгезионного взаимодействия между минеральным материалом и вяжущим.

Реализация активационных процессов при смешении компонентов ЭМС была осуществлена в конструкции устройства, которое агрегатируется с машинами для ямочного ремонта. Оно представляет собой лопастной или шнековый питатель, в корпус которого вмонтированы форсунки подачи ПАВ. Активацию минеральных компонентов в данном устройстве производят путем их смешения с ПАВ с последующей обработкой вяжущим.

На рисунке 8.9 представлена конструктивная схема универсальной машины для ямочного ремонта, оборудованная активационным устройством. Машина состоит из металлоконструкции, образующей бункер для щебня 1, баки для воды 2 и битумной эмульсии 3. Ее можно устанавливать на шасси или в кузове транспортного средства 4. В нижней части бункера установлен шнек 5 с приводом от силовой установки 6. Щебень подается шнеком из бункера в приемный лоток 7 и далее потоком воздуха по щебнепроводу 8 в сопло 9. Поток воздуха создает воздуходувка, приводимая от силовой установки 6. Одновременно в сопло из бака 3 по трубопроводу 10 подается под давлением битумная эмульсия. В сопле 9 происходит смешение щебня с битумной эмульсией. В результате смесь непрерывно укладывается в ремонтируемую яму и уплотняется в ней. В машине предусмотрена возможность очистки ямы водой, которая поступает в нее из бака 2 по трубопроводу 11. Машина имеет устройство для активации 14, в котором происходит обработка щебня ПАВ. Жидкое активирующее вещество находится в бачке 12, соединенном трубопроводом 15 с форсунками 13, при помощи которых оно распыляется, перемешиваясь со щебнем в активаторе 14.

Привод узлов и агрегатов машины осуществляют от автономной силовой установки или от базового шасси, в качестве которого можно использовать отечественные МАЗ-53373 или МАЗ-5337. Кроме того, возможен вариант прицепного шасси, которое агрегатируют с трактором тягового класса 1,4. Загрузку минеральных материалов производят при помощи вспомогательного оборудования, например, элеватора или гидроманипулятора, оснащенного грейфером.

Таблица 8.6 – **Технические характеристики машин для ямочного ремонта покрытий механизированной укладкой эмульсионно-минеральных смесей**

Параметр	БЦМ-24 УДР-1 УДМ-1	SAVALCO (Швеция)		Turbo Jet T 250 AE (РАСТОМ, Москва)	BLOW-PATCHER (SCHAEFER, Германия)	TURBO-COMBI (KOBIT, Чехия)	«Тайфун» («Долерит», РБ)
		SR 800	SR 1500				
Вместимость бункера для щебня, $м^3$	До 16000	4400	8500	8000	6000	3000–7000	6000
Вместимость бака для битумной эмульсии, $м^3$	950	800	1500	946	1000	1000	1000
Вместимость бака для воды, $м^3$	–	–	–	–	900	–	900
Мощность силовой установки, кВт	41,9	30,0 или отбор мощности от двигателя шасси		58,5	38,5	38,5	38,5
Производительность воздуходувки, $м^3$/мин	13,0	13,0	13,0	15,5	16,8	12,5	16,8
Давление подачи битумной эмульсии, МПа	0,5	0,6	0,6	До 1,0	До 0,8	До 0,7	До 0,8
Масса, т	3,5	2,9	3,5	2,8	3,0	2,4–3,5	4,0
Производительность, $м^2$/смена	120	140	140	120	120	120	120

Машина имеет расширенные технологические возможности. Ее можно также использовать для распределения противогололедных материалов (как жидких реагентов, так и песчано-соляных смесей) в зимний период. Для этого вместо сопла устанавливают разбрасывающий диск, на который из бункера шнековым транспортером подают песчано-соляную смесь, а в случае использования жидких реагентов их заправляют в баки машины и подают на обрабатываемую полосу с помощью насосов.

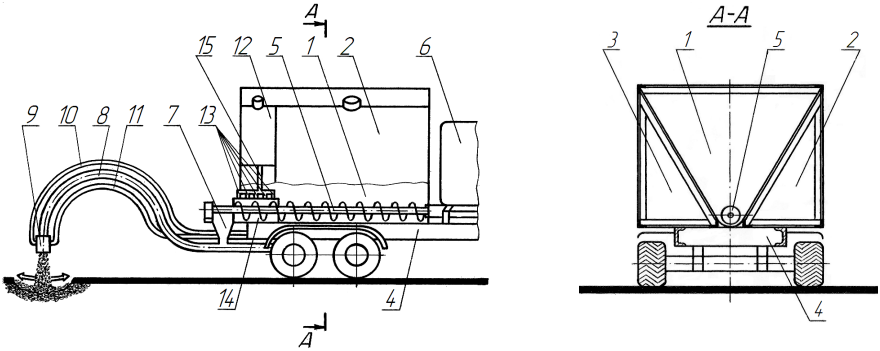


Рисунок 8.9 – Конструкция машины для ямочного ремонта:
1 – бункер для щебня; 2 – бак для воды; 3 – бак для битумной эмульсии; 4 – шасси транспортного средства; 5 – шнек; 6 – силовая установка; 7 – приемный лоток; 8 – гибкий щебнепровод; 9 – сопло; 10, 11, 15 – трубопроводы; 12 – бачок для ПАВ; 13 – форсунки; 14 – устройство для активации

Эксплуатационную производительность (м/ч) машин для текущего ремонта определяют по формуле

$$П_{рем} = \frac{3600к_в L_{ру}}{t_{рем} + t_{всп} + (t_{тр} + t_{зап})m_{зап}}, \qquad (8.7)$$

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

$L_{ру}$ – длина ремонтируемого участка, м;

$t_{рем}$ – общее время, затрачиваемое на ремонт, т.е. на заливку смеси в подготовленные карты, с;

$t_{всп}$ – вспомогательное время, затрачиваемое на передвижение машины между картами в пределах ремонтируемого участка, с;

$t_{тр}$ – транспортное время, затрачиваемое на один переезд машины для заполнения бункера, с;

$t_{зап}$ – время, затрачиваемое на заправку бункера смесью, с;

$m_{зап}$ – число заправок бункера, необходимое для выполнения заданного объема работ.

Общее время на ремонт (с)

$$t_{рем} = b_к h_к l_к / n_к П_{рас}, \qquad (8.8)$$

где $b_к, h_к, l_к$ – общие ширина, глубина и длина карт в покрытии ремонтируемого участка;

$n_к$ – число карт в покрытии ремонтируемого участка;

$П_{рас}$ – производительность распределительного устройства термосабункера, м^3/с.

Ввспомогательное время

$$t_{всп} = L_{ру} n_к t_{ман} / l_к , \qquad (8.9)$$

где $t_{ман}$ – время маневрирования при переезде машины от одной карты к другой, с.

Время, затрачиваемое на заправку бункера,

$$t_{зап} = L_{тр} / \upsilon_{пор} + L_{тр} / \upsilon_{гр} , \qquad (8.10)$$

где $L_{тр}$ – расстояние от места заполнения бункера до места работы, м;

$\upsilon_{пор}$ – скорость порожней машины, м/с;

$\upsilon_{гр}$ – скорость груженой машины, м/с.

Число заправок бункера смесью, необходимое для выполнения работ,

$$m_{зап} = к_{зап} b_к h_к l_к /(к_{нап} V_{бун}) , \qquad (8.11)$$

где $к_{зап}$ – коэффициент запаса, учитывающий перерасход или возможные потери смеси; $к_{зап} = 1{,}15$;

$к_{нап}$ – коэффициент наполнения, $к_{нап} = 0{,}8$;

$V_{бун}$ – вместимость бункера, м^3.

Средства малой механизации. Специфика ямочного ремонта (небольшие объемы и большое количество объектов) обусловливает технологическую и экономическую необходимость использования средств малой механизации. В их числе нарезчики и заливщики швов, виброплиты и вибротрамбовки, а также другое малогабаритное оборудование.

Нарезчики швов. При ямочном ремонте для вырубки кромок ремонтируемых ям и разделки трещин применяют нарезчики швов. Их целесообразно классифицировать по следующим основным признакам:

1) *по мощности двигателя* (кВт) – легкие (до 15), средние (до 30) и тяжелые (до 50);

2) *по способу перемещения* – ручные и самоходные;

3) *по типу привода рабочего органа* – с механическим, гидравлическим и электрическим приводом;

4) *по виду рабочего органа* – с режущим диском и с тонкой фрезой.

Главным элементом нарезчика швов является рабочий орган – режущий диск (или фреза), который приводит во вращение силовая установка – двигатель внутреннего сгорания, электрический двигатель с питанием от сети (или от стационарного источника) или комбинированная силовая установка

(ДВС – электропривод или ДВС – гидропривод).

Для ямочного ремонта используют в основном ручные нарезчики с механическим приводом. Самоходные машины применяют для крупномасштабных дорожных работ, в том числе для нарезки пазов деформационных швов в ЦБ покрытии.

Наиболее простую конструкцию имеют нарезчики швов с механическим приводом. Такой нарезчик (рисунок 8.10) представляет собой тележку, на раме 1 которой установлен двигатель внутреннего сгорания 6, приводящий через трансмиссию (сцепление и клиноременную передачу 5) режущий диск 3, положение которого регулирует ручной подъемный механизм 8. Передвижение нарезчика при резании покрытия производит оператор вручную. Установка режущего диска на требуемую глубину резания производится вручную механизмом 8. Диск закрыт защитным кожухом 4 с трубкой, по которой подают воду из бака 7 для охлаждения диска. Удаление пыли и продуктов резания из рабочей зоны может производиться пылесосом, дополнительно устанавливаемым на раму.

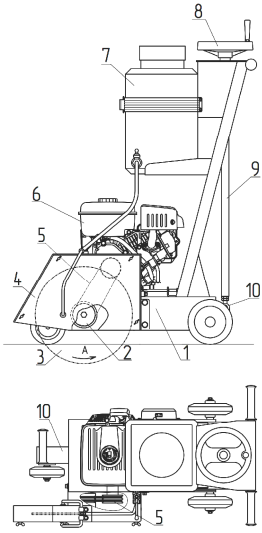


Рисунок 8.10 – Конструктивная схема нарезчика асфальта:
1 – рама; 2 – шпиндель; 3 – режущий диск; 4 – защитный кожух; 5 – клиноременная передача; 6 – двигатель; 7 – бак для воды; 8 – механизм подъема диска; 9 – тяга; 10 – направляющая штанга

В качестве рабочего органа в нарезчиках используют два вида режущего инструмента: во-первых, алмазносегментные отрезные диски (т.е. диски с алмазным покрытием), которые объединяют в пакет для обеспечения необходимой ширины разделки трещин; во-вторых, фрезы с требуемой шириной режущей кромки зубьев из твердосплавных материалов или с алмазным покрытием.

В Беларуси нарезчики швов выпускает «Белдортехника». Их также производят как навесные адаптеры на универсальные энергомодули, например, на энергосредство «Полесье-30» (производства ГСКБ объединения «Гомсельмаш»). Ведущие производители дорожной техники выпускают несколько типоразмеров нарезчиков швов, отличающихся типом и мощностью двигателя, диаметром режущего диска и глубиной резания. В их числе фирмы «Cedima», «Stow» и «Breining» (Германия), «Dynapac» и «Partner» (Швеция) и др. В таблице 8.7 представлены технические характеристики нарезчиков швов некоторых производителей. Как видно из таблицы, для этих машин главным параметром является глубина резания, от которой зависят мощность силовой установки, габариты машины, ее производительность.

Таблица 8.7 – **Технические характеристики нарезчиков швов**

Модель	Диаметр режущего диска, мм	Глубина резания, мм	Двигатель	Мощность, кВт	Производительность, $см^2$/мин	Масса, кг
Splitstone CS-144E	350	110	Э	4,0	250	100
БРШ-450Х	450	160	Б	9,6	–	125
Splitstone CS-1813	450	165	Б	9,6	500	138
Cedima CF-13 D	450	170	Д	4,6	–	106
Wacker BFS AL1350	500	185	Б	9,6	–	136
Wacker DFS 2075HLS (самоходный)	750	280	Д	14,6	–	357
Splitstone CSP-3220 (самоходный)	800	320	Б	15	560	240

Примечание – Э – электрический, Б – бензиновый, Д – дизельный.

При резании материала фрезами, оснащенными твердосплавными зубьями, происходит дробление и даже вырывание крупных зерен щебня из кромки разделываемой трещины, что сопровождается снижением прочностных характеристик покрытия в этой зоне. Поэтому оборудование с твердосплавным инструментом целесообразно применять при разделке трещин в асфальтобетоне с максимальной крупностью заполнителя не более 10 мм. При резании алмазным инструментом такой проблемы не возникает, поскольку в этом случае щебень в асфальтобетоне аккуратно разрезается.

На рисунке 8.11 показан нарезчик швов с ручным управлением.

Рисунок 8.11 – Нарезчик швов с ручным приводом хода

Скорость рабочего процесса нарезчиков швов зависит от глубины и ширины резания, от разрабатываемого материала и составляет 30–200 м/ч. При необходимости очистки сильно загрязненных трещин применяют дисковые щетки, которые устанавливают вместо режущих дисков.

Самоходные нарезчики швов имеют гидравлический привод механизма передвижения, что позволяет им двигаться в рабочем режиме со скоростью до 480 м/ч. Большая масса обеспечивает им низкий уровень вибрации при работе с твердосплавным инструментом.

Расчет нарезчиков швов включает определение основных параметров, баланс мощности и др.

Мощность (кВт), затрачиваемую на резание шва, определяют по эмпирической зависимости, связывающей ее с габаритами вырезаемого паза, а также со скоростью резания:

$$N_{\text{рез}} = 6 \cdot 10^{-5} q_{\text{уд}} b_{\text{ш}} h_{\text{ш}} \upsilon_{\text{п}}, \qquad (8.12)$$

где $q_{\text{уд}}$ – удельная энергоемкость резания, $\text{кВт} \cdot \text{ч/м}^3$,

$$q_{\text{уд}} = \begin{cases} 150 \text{ – для асфальтобетона,} \\ 600 \text{ – для цементобетона;} \end{cases}$$

$b_{\text{ш}}$ – ширина шва, м;

$h_{\text{ш}}$ – глубина шва, м;

$\upsilon_{\text{п}}$ – скорость подачи, м/мин.

Проверить правильность расчетов мощности резания можно при помощи выражения

$$N_{\text{рез}} = e^{-7,266}\sigma_{сж}^{0,85} h_{\text{ш}}^{1,409} \upsilon_{\text{п}}^{0,825}, \qquad (8.13)$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ – прочность материала, МПа,

$$\sigma_{\text{сж}} = \begin{cases} 15...20 - \text{для асфальтобетона,} \\ 9...10 - \text{для неотвержденного цементобетона,} \\ 36...40 - \text{для отвержденного цементобетона.} \end{cases}$$

Количество охлаждающей жидкости (л) оценивают также по эмпирической зависимости

$$Q_{\text{в}} = D/(20...25), \qquad (8.14)$$

где $Q_{\text{в}}$ – расход воды на охлаждение диска, л/мин;

D – диаметр диска, мм.

Оборудование для ремонта трещин. После фрезерования и очистки дисковой щеткой с металлическим ворсом, устанавливаемой вместо режущего диска на нарезчик швов, следует подготовка трещины к последующей заливке герметиком, которая включает просушку и прогрев шва.

Для этих подготовительных операций используют как специализированное оборудование, так и сварочное газопламенное, приспособленное к ремонтным работам. К специализированному оборудованию относятся *газогенераторные установки*, которые оснащают компрессором, горелкой и баллонами с природным или другим горючим газом. Через управляемую форсунку они подают со скоростью 400–600 м/с горячий (200–300 $^{\circ}$С) воздух в полость трещины. Результатом является не только очистка и сушка полости самой трещины, но и вынос разрушенных частиц покрытия из зоны трещины.

При использовании газопламенных установок просушку и прогрев трещин производят горелками с открытым пламенем, что приводит к выгоранию вяжущего и ускоренному разрушению асфальтобетона в зоне трещины.

Завершающей операцией по ремонту трещин является их герметизация, которую осуществляют специальными машинами – *заливщиками швов.* Их целесообразно классифицировать по следующим основным признакам:

1) *типу привода* – самоходные, прицепные и ручные;

2) *виду обогрева емкости* с герметиком – масляным теплоносителем, горючим газом и горелкой, работающей на дизельном топливе;

3) *наличию смесителя* – с горизонтальным и вертикальным валом.

Таблица 8.8 – **Технические характеристики заливщиков швов**

Модель	ЗШ-4	Б3	ЭД-135М-3	ЭД-135М-2	ЭД-135М-4	ЗШ-3К	Cedima RVK 450 i	Cedima RVK 600
Тип	П	П	П	С	С	Р	П	П
Мощность двигателя, кВт	8,0		8,8	17,0	30,0	-	10,0	10,0
Тип горелки	Д	Д	Д	Д	Д	Г	Д	Д
Объем бака для герметика, л	0,43	–	0,5	0,5	0,5	0,03	0,45	0,6
Расход топлива горелкой, л/ч	7	–	8	8	8,5	1,4	–	–
Габаритные размеры, м	4,3x2,1x2,0	–	3,4x1,9x2,0	3,4x1,9x2,0	4,2x2,2x2,0	–	4,9x1,9x2,5	4,9x1,9x2,5
Эксплуатационная масса, кг	2180	1900	1800	1900	1900	95	2500	2500

Примечание – П – прицепной, С – самоходный, Р – ручной, Д – дизельный, Г – газовый.

Заливщик представляет собой обогреваемый бак, установленный на раме, оборудованной колесным ходом. Бак может быть оснащен смесителем, а также оборудованием (насосом, коммуникациями, форсункой) для транспортирования герметика к трещине. Герметик загружают в бак, нагревают до рабочей температуры и с помощью насоса подают через управляемую форсунку в подготовленную трещину. Гидравлический привод смесителя и насоса подачи герметика от автономной силовой установки (двигателя внутреннего сгорания) через гидронасос и гидромотор обеспечивает эффективное регулирование подачи герметика.

На рисунке 8.12 показана конструктивная схема самоходного заливщика швов, который размещен на шасси грузового автомобиля. Он оснащен пневмосистемой с компрессором 1; баком 2 для разогрева герметика с форсункой 4 газовой горелки и коммуникациями; системой подачи герметика, включающей поворотную стойку 5 с трубчатой балкой, снабженной трубопроводом 3; приводом подачи воздуха и герметика в полость шва. Краны, насос и трубопроводы также обогреваются горячим газом. Компрессор обеспечивает продувку и очистку шва сжатым воздухом, а также его подачу в топливную форсунку. Компрессор приводят от двигателя транспортного средства через редуктор отбора мощности. Разогретый герметик при помощи насоса через трубопровод и сопло поступает в полость шва. С помощью поворотной стойки и балки сопло трубопровода перемещают вдоль шва для его заполнения.

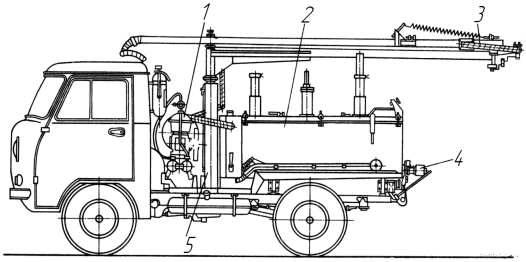


Рисунок 8.12 – Самоходный заливщик швов:
1 – компрессор; 2 – бак для разогрева герметика; 3 – трубопровод; 4 – форсунка; 5 –поворотная стойка

После заливки трещину покрывают слоем песка или щебня мелких фракций (5–10 мм) для создания защитного шероховатого слоя износа, а также для предотвращения выпотевания битума. Для выполнения поверхностной обработки трещин имеются ручные щебнераспределители на пневмоколесах, основным узлом которых является бункер конической формы с заслонкой для регулирования толщины слоя распределяемого материала. Управление заслонкой и перемещение бункера осуществляют вручную.

В таблице 8.8 приведены характеристики некоторых заливщиков швов.

На рисунке 8.13 показан заливщик швов в прицепном варианте производства «Белдортехники». Он предназначен для разогрева и подачи под давлением битумно-эластомерных герметизирующих мастик при выполне-

нии работ по герметизации трещин, швов и гидроизоляции при ремонтно-строительных работах на автомобильных дорогах, аэродромных покрытиях, мостах, путепроводах. Его комплектуют двумя легкосъемными насадками — для заливки швов и для заливки трещин.

Рисунок 8.13 – Прицепной заливщик швов ЗШ-4

Виброплиты для уплотнения дорожных материалов являются самопередвигающимся оборудованием. В качестве возбудителя колебаний они оснащены центробежными вибраторами – дебалансными валами. При вращении такого вала развивается центробежная сила инерции. Ее проекция на вертикальную ось является той вынуждающей (возмущающей) силой, под действием которой происходят колебания вибратора и самой плиты. Виброплиты классифицируют по следующим основным признакам:

1) *по типоразмеру* – легкие (массой 50–70), средние (70–110) и тяжелые (более 110 кг);

2) *по типу привода вибратора* – механические, гидравлические, электрические и пневматические;

3) *по характеру колебаний вибратора* – с ненаправленными (круговыми) и направленными колебаниями;

4) *по количеству валов вибратора* – одно- и двухвальные;

5) *по способу рабочего перемещения* одноходные (с ходом только вперед) и реверсивные (с ходом вперед – назад);

6) *по степени автономности* – самостоятельное оборудование или дополнительное оборудование к рециклерам.

Принцип действия центробежных дебалансных вибраторов – *одновальных* и *двухвальных* – представлен на рисунке 8.14. Наиболее значимым отличием этих вибраторов является характер действия центробежной силы инерции. У *одновальных* вибраторов *центробежная сила имеет постоянную величину и переменное направление*, а у *двухвальных – центробежная сила имеет постоянное направление и переменную величину*. При этом вынуждающая сила дебалансного вала изменяется во времени от нуля до максимальной (амплитудной) величины, равной центробежной силе.

У *одновального вибратора* (рисунок 8.14, *а*) центробежная сила Q_1 при вращении вала остается постоянной, но непрерывно меняет направление, создавая круговые ненаправленные колебания. Его вынуждающая сила в каждый момент времени равна проекции на вертикальную ось центробеж-

ной силы. Соответственно, одновальный вибратор передает ненаправленные колебания виброплите, которая, в свою очередь, передает колебания уплотняемому материалу.

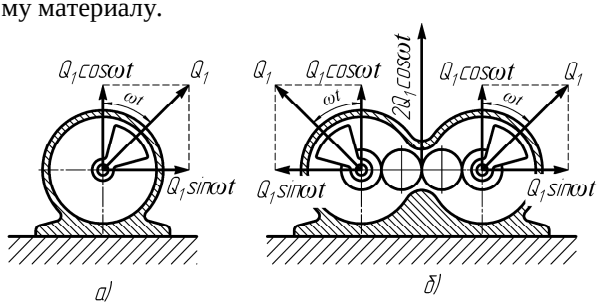


Рисунок 8.14 – Принцип действия одно- и двухвального вибраторов:
а – с ненаправленными (круговыми) колебаниями; *б* – с направленными колебаниями

У двухвального вибратора (рисунок 8.14, *б*) оба вала соединены между собой (например, зубчатыми колесами) и вращаются в противоположные стороны с одинаковой угловой скоростью. За счет этого вертикальные составляющие центробежных сил всегда направлены в одну сторону, что обеспечивает вертикальные направленные колебания, которые передаются плите и обеспечивают более эффективное уплотнение материала. При этом горизонтальные составляющие этих сил ($Q_1\sin\varphi$) взаимно уравновешиваются.

При вращении дебалансного вала центробежную силу определяют по формуле

$$Q_1 = m_д r\omega^2 = \frac{G_д}{g} r\omega^2, \qquad (8.15)$$

где $m_д$, $G_д$ – масса и сила тяжести дебаланса;

r – эксцентриситет, т.е. радиус вращения центра тяжести дебаланса, м;

ω – угловая скорость вращения дебалансного вала, $с^{-1}$, $\omega = \pi n_д / 30$,

$n_д$ – частота вращения дебаланса вибратора, об/мин.

Вынуждающая сила дебалансного вала соответствует вертикальной проекции центробежной силы. Для одно- и двухвальных вибраторов она имеет различные значения.

Для одновального вибратора ненаправленного действия проекции центробежной силы на оси координат

$$\begin{cases} Q_x == Q_1 \sin\varphi = Q_1 \sin\omega t, \\ Q_y == Q_1 \cos\varphi = Q_1 \cos\omega t, \end{cases} \qquad (8.16)$$

где φ – угол, характеризующий направление центробежных сил.

Таким образом, вынуждающая сила (т.е. Q_y) одновального вибратора изменяется по величине при вращении вала, что снижает эффективность уплотнения.

Для двухвального вибратора направленного действия проекции центробежных сил на оси x и y

$$\begin{cases} Q_x = 0, \\ Q_y = 2Q_1 \cos\omega\, t. \end{cases} \qquad (8.17)$$

Сопоставляя формулы (8.16) и (8.17), нетрудно убедиться в том, что суммарная вынуждающая сила двухвального вибратора значительно больше этого параметра одновального вибратора.

Двухвальный вибратор устанавливают на реверсивных виброплитах. Если ось центров валов расположена горизонтально, плита будет работать на месте, совершая вертикально направленные колебания под действием силы Q_y. Если же ось центров будет установлена под углом к вертикали, плита будет передвигаться в направлении отклонения оси центров.

В таблице 8.9 показано влияние типоразмера одноходных и реверсивных виброплит на толщину уплотняемых ими слоев АБ смесей.

Таблица 8.9 – **Рекомендуемые параметры виброплит для уплотнения асфальтобетонных смесей**

Тип	Масса (кг) виброплиты для обеспечения глубины уплотнения		
	3–6 см	8–10 см	12–14 см
Одноходная	70–100	100–120	120–180
Реверсивная	120	120–200	120–200

В таблице 8.10 сопоставлены эксплуатационные характеристики виброплит и виброкатков в зависимости от их главного параметра – массы. Как видно из таблицы, по производительности плиты существенно уступают каткам. Поэтому их используют при небольших объемах дорожных работ, т.е. там, где не требуется высокая производительность: во-первых, при ямочном ремонте; во-вторых, при заделке траншей, пересекающих покрытие; в-третьих, при уплотнении щебня и гранулята, которые применяют для укрепления обочин; в-четвертых, при уплотнении нижних и верхних слоев дорожной одежды при уширении проезжей части в местах небольшой протяженности (на развязках, автобусных остановках и др.).

Таблица 8.10 – **Уплотняющая способность виброплит и виброкатков**

Масса, кг	Производительность ($м^2$/ч) уплотнения асфальтобетона при толщине уплотняемого слоя		
	3–6 см	8–10 см	12–14 см
Виброплиты			
70–110	60–90	40–60	–
110–180	80–120	60–80	30–40
Асфальтовые виброкатки (тандемы)			
600	200–250	100–120	–
1200	300–400	150–200	100–120
3000	400–600	250–350	200–250

Виброплита (рисунок 8.15) представляет собой рабочую плиту-поддон 1 с вибратором 2, которая снабжена подмоторной рамой 4, двигателем 5, трансмиссией 3, системой подвески 7 и механизмом управления 6. На этом рисунке приведены принципиальные схемы одноходной плиты с вибратором ненаправленного действия (*а*) и реверсивной плиты с вибратором направленного действия (*б*).

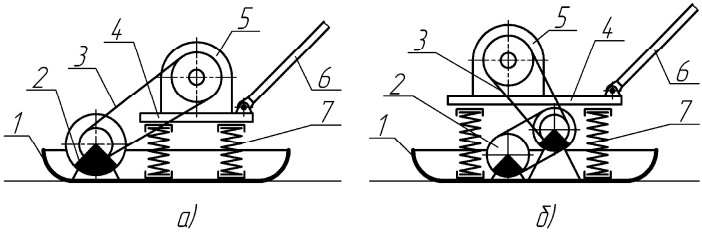


Рисунок 8.15 – Схемы виброплит с одновальным вибратором ненаправленного действия (*а*) и двухвальным вибратором направленного действия (*б*):
1 – рабочая плита; 2 – вибратор; 3 – клиноременная передача привода вибратора; 4 – подмоторная рама; 5 – двигатель; 6 – рукоятка управления; 7 – подвеска

Рабочее перемещение (самопередвижение) одноходной и реверсивной виброплит происходит следующим образом. Виброплита с одновальным вибратором может перемещаться только вперед за счет установки вибратора со смещением относительно центра инерции плиты (рисунок 8.15, *а*). Виброплита с двухвальным вибратором может работать на месте, а также перемещаться вперед или назад в зависимости от положения оси центров дебалансных валов (в положении, показанном на рисунке 8.15, *б*, плита перемещается влево). Положение оси центров изменяют при помощи регулировочной тяги (на рисунке не указана). Разворот и управление передвижением плиты производят при помощи рукоятки 6.

Механический привод вибратора состоит из двигателя внутреннего сгорания с воздушным охлаждением и трансмиссии (муфты сцепления и клиноременной передачи).

Гидравлический привод, который имеют тяжелые виброплиты, включает двигатель внутреннего сгорания, гидронасос, гидродвигатель, гидрораспределитель, бак для рабочей жидкости и коммуникации.

Пневматический привод содержит пневмодвигатель, пневмораспределитель и коммуникации, по которым сжатый воздух подают от компрессорной установки.

На рисунке 8.16 приведены конструктивная и кинематическая схемы самопередвигающейся виброплиты с механическим приводом одновального вибратора. Она содержит следующие сборочные единицы: плиту 1, вибратор 3, подмоторную раму 5, кабестан 2 со шкивом 15, двигатель 6 и муфту 32. Стальная плита 1 корытообразной формы является уплотняющим рабочим органом. В ее передней части расположена площадка для крепления привода кабестана 2.

На плите установлен вибратор 3, корпус 19 которого крепится к ней болтами. Главный вал вибратора 33 имеет четыре дебаланса – 20, 21, 26 и 27.

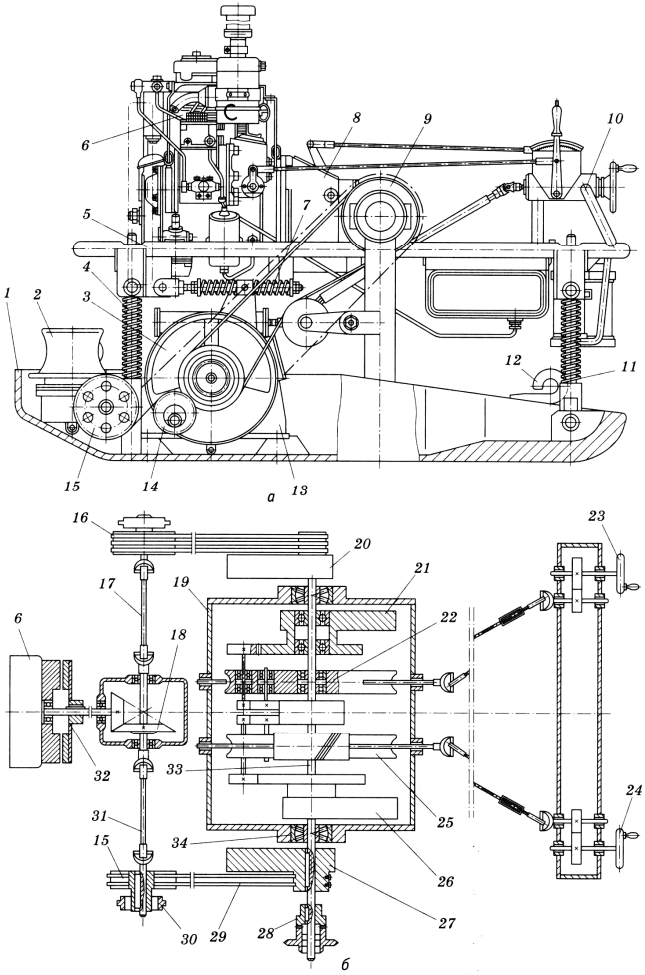


Рисунок 8.16 –Конструктивная (*а*) и кинематическая (*б*) схемы самопередвигающейся плиты:

1 – плита; 2 – кабестан; 3, 10 – вибраторы (вибровозбудители); 4, 11 – вертикальные амортизаторы подвески подмоторной рамы; 5 – подмоторная рама; 6 – двигатель; 7 – горизонтальный вибратор; 8 – коробка передач; 9 – редуктор; 12 – сцепная петля; 13 – опора вибратора; 14 – натяжная звездочка; 15 – шкив; 16, 29 – ремни клиноременных передач; 17, 31 – карданные валы; 18 – редуктор; 19 – корпус вибратора; 20, 27 — крайние дебалансы; 21, 26 – средние дебалансы; 22, 25 – сателлиты; 23, 24 – маховички; 28, 32 – муфты; 30 – звездочка цепной передачи; 33 – главный вал вибратора; 34 – подшипник

Двигатель внутреннего сгорания 6 через конический редуктор 18, карданные передачи 17 и 31, а также через клиноременные передачи 16 и 29 приводит во вращение вал 33 вибратора. Средние дебалансы 21 и 26 вращаются в сторону, противоположную направлению вращения крайних дебалансов 20 и 27, благодаря зубчатому механизму в корпусе вибратора. При исходном расположении массы дебалансов точно в вертикальной плоскости (относительно вала 33) плита колеблется только в вертикальном направлении. При смещении дебалансов относительно вала 33 в плане вперед, назад и в разные стороны плита будет перемещаться соответственно вперед, назад или вокруг оси.

Управление работой виброплиты производят вручную через две зубчатые передачи при помощи маховичков 23 и 24.

Для гашения колебаний и устранения их воздействия на двигатель рама 5 снабжена упругой подвеской шарнирной конструкции, которая имеет горизонтальные 7 и вертикальные 4 и 11 амортизаторы.

В таблице 8.11 приведены основные технические характеристики наиболее распространенных виброплит различных типоразмеров.

Таблица 8.11 – **Технические характеристики виброплит**

Показатель	ВП-3	VS-244	ВУ-1500	VS-246E12	VS-246E20	ДУ-90
Масса, кг	70	80	100	120	125	270
Ширина полосы, см	44	44	45	45	45	55
Рабочая поверхность, $м^2$	0,243	0,246	0,242	0,261	0,292	0,314
Вынуждающая сила, кН	12	12	15	15	30	34
Частота вибрации, Гц	90	90	96	78	75	96
Рабочая скорость, м/мин	5–30	20–25	20	20–25	20	25
Мощность двигателя, кВт	3,0	3,0	2,9	4,5	4,5	4,4
Габариты, мм:						
длина	552	560	1060	650	650	1080
ширина	440	440	450	450	450	546
высота	468	470	960	600	600	980

Отечественные предприятия также наладили производство виброплит. Например, машиностроительное предприятие «Белдортехника» выпускает две модели виброплит ПВ-1 и ПВ-2 (массой 70 и 120 кг); могилевский завод «Строммашина» производит виброплиты модели УВ-04 (массой 233 кг) с приводом от двигателя мощностью 4,4 кВт; гомельское СКТБ «Техноприбор» – легкие виброплиты с приводом от пневмодвигателя.

Расчет виброплит. К основным характеристикам виброплит относятся сила тяжести и размеры рабочей площади, частота колебаний и вынуждающая сила, мощность двигателя и скорость передвижения. Как правило, боль-

шую часть показателей выбирают на основе экспериментальных данных.

Силу тяжести виброплиты выбирают по статическому давлению

$$p = G_{вп} / S_{вп}, \qquad (8.18)$$

где p – статическое давление, кН/м^2,

$$p = \begin{cases} 2...3 - \text{для плит массой } 50 - 100 \text{ кг}, \\ 5...15 - \text{для плит массой } 100 - 800 \text{ кг}; \end{cases}$$

$G_{вп}$ – сила тяжести виброплиты, кН;

$S_{вп}$ – опорная площадь плиты, м^2.

Размеры плиты связывают с толщиной уплотняемого слоя. В частности, должно выполняться соотношение

$$l_{вп} \geq h_{сл},$$

где $l_{вп}$ – длина плиты (по направлению движения), м;

$h_{сл}$ – толщина уплотняемого слоя, м.

По опытным данным рекомендуют принимать

$$l_{вп} = 1{,}0...1{,}15 B_{вп},$$

где $B_{вп}$ – ширина виброплиты, м.

Кроме того, для оценки массы (кг) виброплиты используют выражение

$$m_{вп} = к_{пр} \rho_{см} l_{вп} B_{вп} h_{сл}, \qquad (8.19)$$

где $к_{пр}$ – коэффициент, зависящий от режима уплотнения,

$$к_{пр} = \begin{cases} 10 - \text{при виброуплотнении}, \\ 20 - \text{при трамбовке}; \end{cases}$$

$\rho_{см}$ – плотность АБ смеси, $\rho_{см}$ = 2000 кг/м^2;

$B_{вп}$ – ширина плиты, м.

Для проверки или определения некоторых характеристик можно воспользоваться известным правилом о равенстве статического момента дебалансного вибратора и статического момента виброплиты при уплотнении материала заданной толщины.

Статический момент $(\text{Н} \cdot \text{м})$ дебалансного вала

$$M_д = m_д r z_д,$$

где $m_д$ – масса дебаланса, кг;

r – эксцентриситет, м;

$z_д$ – количество дебалансов.

Статический момент $(\text{Н}\cdot\text{м})$ виброплиты

$$M_{\text{вп}} = 0{,}022 m_{\text{вп}} h_{\text{сл}} .$$

Из равенства этих моментов можно определить геометрические характеристики дебаланса.

Наибольший эффект уплотнения достигается в тех случаях, когда частота вынуждающих колебаний плиты соответствует частоте собственных колебаний уплотняемого материала.

В ряде случаев необходимо определить скорость перемещения (м/мин) виброплиты. Для этого можно воспользоваться формулой

$$\upsilon_{\text{вп}} = \pi n_{\text{д}} \text{tg}\varphi / \sqrt{\pi^2 n_{\text{д}}^2 + 1} , \qquad (8.20)$$

где $n_{\text{д}}$ – частота вращения дебаланса, об/мин.

Для каждого материала экспериментальным путем подбирают оптимальную частоту дебаланса и скорость перемещения плиты. Максимальной скорости самопередвижения плиты соответствует угол $\varphi = 45\ldots50^0$.

Частоту вращения дебаланса (об/мин) можно определить с помощью эмпирической зависимости через толщину уплотняемого слоя (м):

$$n_{\text{д}} = 856 / \sqrt{h_{\text{сл}}} . \qquad (8.21)$$

Мощность двигателя плиты затрачивается на ее передвижение $N_{\text{пер}}$, на привод дебалансного вала $N_{\text{пр}}$ и на преодоление сил трения $N_{\text{пк}}$ в его опорах (подшипниках):

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{пер}} + N_{\text{пр}} + N_{\text{пк}} .$$

Мощность (Вт), *затрачиваемая на передвижение*,

$$N_{\text{пер}} = \sum W \upsilon_{\text{вп}} / (60 \eta_{\text{пд}}) , \qquad (8.22)$$

где $\eta_{\text{пд}}$ – КПД привода дебалансного вала.

Общая сила сопротивления передвижению $\sum W$ плиты складывается из следующих составляющих:

1) *сопротивления передвижению* (Н) виброплиты по поверхности смеси

$$W_{пер} = \mu_1 G_{\text{вп}} , \qquad (8.23)$$

где μ_1 – коэффициент трения стали по АБ смеси (таблица 8.12);

Таблица 8.12– **Коэффициенты трения стали по асфальтобетонной смеси в зависимости от ее температуры и частоты вибрации**

Температура смеси, °С	Коэффициент трения при частоте вибрации, Гц					
	–	17	30	50	57	67
60–66	0,675	0,510	0,015	0,015	0,015	0,015
70–79	0,465	0,510	0,115	0,015	0,115	0,115
90–103	0,500	0,500	0,210	0,065	0,065	0,040
115–120	0,460	0,265	0,090	0,090	0,065	0,040
147–159	0,480	0,340	0,110	0,014	0,037	0,014

2) *сопротивления призмы волочения* (Н) смеси перед плитой

$$W_{\text{пр}} = \mu_2 G_{\text{пр}}, \tag{8.24}$$

где μ_2 – коэффициент сопротивления перемещению смеси по смеси,

$$\mu_2 = \begin{cases} 0{,}7...0{,}8 \text{ – для холодной смеси,} \\ 0{,}5...0{,}6 \text{ – для горячей смеси;} \end{cases}$$

$G_{\text{пр}}$ – сила тяжести смеси в призме волочения, Н;

3) *сопротивления инерционных сил* (Н)

$$W_i = \frac{G_{\text{вп}}}{g} \frac{\upsilon_{\text{вп}}}{t_{\text{раз}}}, \tag{8.25}$$

где $\upsilon_{\text{вп}}$ – скорость перемещения виброплиты, м/с;

$t_{\text{раз}}$ – время разгона до скорости $\upsilon_{\text{вп}}$, с.

Мощность (Н), *затрачиваемая на привод дебалансного вала*,

$$N_{\text{пр}} = \frac{1}{2} a_{\text{р}} \omega Q_1, \tag{8.26}$$

где $a_{\text{р}}$ – расчетная вертикальная амплитуда колебаний вала, м.

Расчетную амплитуду колебаний (м) дебалансного вала можно определить через необходимую для уплотнения амплитуду колебаний плиты:

$$a_{\text{р}} = a_{\text{в}} / [\omega / (2n_{\text{з}})] \sin\varphi, \tag{8.27}$$

где $a_{\text{в}}$ – амплитуда вынужденных колебаний виброплиты, $a_{\text{в}} \geq 3 \cdot 10^{-4}$ м;

$n_{\text{з}}$ – коэффициент затухания колебаний, $n_{\text{з}}$ = 1/125 Гц.

Мощность (Н), *затрачиваемую на преодоление сил трения* в подшипниках вибровала, определяют по формуле

$$W_{\text{пк}} = \frac{1}{2} \mu_{\text{пк}} \omega d_{\text{пк}} Q_1, \tag{8.28}$$

где $\mu_{пк}$ – коэффициент трения в подшипниках качения, $\mu_{пк}$ = 0,005…0,007;

$d_{пк}$ – внутренний диаметр подшипника, м.

Техническая производительность (м^3/с) *при уплотнении*

$$П_{ву} = B_{вп}\upsilon_{вп}h_{сл} / z \,, \qquad (8.29)$$

где z – число проходов.

Вибротрамбовки также используют для уплотнения АБ смесей в стесненных условиях, когда производительность не является определяющим фактором. Вибротрамбовка представляет собой ручной механизм, уплотняющий дорожно-строительный материал в режиме трамбования, т.е. с отрывом рабочей поверхности от уплотняемой среды. Ударный механизм трамбовок совершает поступательное движение, которое осуществляют за счет дебалансных и других возбудителей колебаний. В качестве привода используют двигатель внутреннего сгорания, а также комбинированные силовые установки с механическим, электрическим, пневматическим и гидравлическим приводом.

Наибольшее распространение при ремонте получили ручные пневматические трамбовки. В качестве примера на рисунке 8.17 представлена конструктивная схема ручной трамбовки. Двигатель 4 приводит через зубчатую передачу кривошипо-шатунный механизм. Кривошип 3, вращаясь, приводит шатун, связанный с рабочим цилиндром 5, в котором размещен поршень 1. В результате вращения вала привода цилиндр совершает возвратно-поступательные движения, которые передаются поршню 1 и башмаку 6. При перемещении цилиндра вверх над головкой поршня создается разрежение, и под действием разности атмосферного и остаточного давлений он также перемещается вверх вместе с башмаком, затем останавливается в верхней точке и устремляется вниз, ударяя башмаком по уплотняемому материалу. Ударный импульс, создаваемый поршнем и передаваемый на башмак трамбовки, обеспечивает уплотнение материала. Эффективность уплотнения зависит от многих факторов, в том числе от длительности импульса и высоты, с которой нанесен удар.

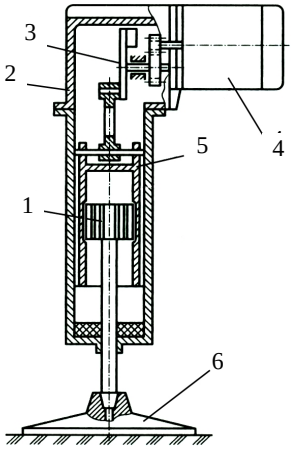


Рисунок 8.17 – Схема ручной пневмотрамбовки:
1 – поршень; 2 – корпус трамбовки; 3 – кривошип; 4 – привод; 5 – рабочий цилиндр; 6 – башмак

Трамбование осуществляют в режиме отрыва трамбующей поверхности от уплотняемого материала. Поэтому к основным параметрам трамбования

относятся трамбующий (ударный) импульс и его удельная характеристика, а также работа на уплотнение обрабатываемого материала, толщина уплотняемого слоя и др.

Трамбующий импульс $(\text{Н}\cdot\text{с})$ зависит от массы $m_{\text{т}}$ трамбовки и вертикальной скорости при ударе $\upsilon_{\text{у}}$ плиты:

$$I_{\text{т}} = m_{\text{т}}\upsilon_{\text{у}}\,. \tag{8.30}$$

Важной характеристикой является удельный трамбующий импульс, который определяет эффективность трамбования. Его находят из выражения

$$i_{\text{т}} = I_{\text{т}} / S_{\text{т}}\,, \tag{8.31}$$

где $S_{\text{т}}$ – площадь трамбующей поверхности, м^2.

Величина $i_{\text{т}}$ связана с прочностными характеристиками уплотняемого материала. Должно выполняться соотношение

$$i_{\text{т}} \le (0{,}8...0{,}9)\left[i_{\text{т}}\right], \tag{8.32}$$

где $\left[i_{\text{т}}\right]$ – предельно допускаемая величина удельного импульса, при котором наступает разрушение материала.

В качестве примера на рисунке 8.18 представлена конструктивная схема трамбовки с пневмоприводом.

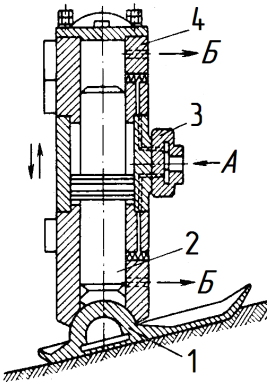


Рисунок 8.18 – Схема трамбовки с пневмоприводом:
1 – плита-шабот; 2 – боек; 3 – воздухораспределительное устройство; 4 – корпус;
А – подача сжатого воздуха;
Б – выход воздуха в атмосферу

Поступательное движение ударного рабочего органа – бойка 2 − осуществляют при помощи сжатого воздуха, который поступает через воздухораспределитель 3 в корпус 4 пневмомолота. В свою очередь, боек наносит удар по плите 1, которая обеспечивает уплотнение материала. Частоту ударов регулируют распределительным устройством 3.

8.3 Машины для среднего ремонта асфальтобетонных покрытий

Поверхностная обработка дорожных покрытий является одной из наиболее энергосберегающих технологий реконструкции, ремонта и восстановления дорожной одежды. Как правило, ее используют для решения двух основных задач:

– во-первых, *для увеличения степени шероховатости дорожных покрытий;*

– во-вторых, *для восстановления слоя износа покрытий.*

Для обеспечения высокого уровня безопасности движения на дорогах во многих странах используют *шероховатые поверхностные слои* покрытий, имеющие повышенный коэффициент сцепления при сохранении их износостойкости и гидроизоляционной способности. Основные методы (и оборудование) увеличения шероховатости дорожных покрытий можно классифицировать по следующим признакам:

1) *по объекту воздействия* – асфальтобетонные и цементобетонные покрытия;

2) *по виду воздействия* – механическое, пневматическое и гидравлическое.

Наиболее простыми являются методы воздействия на асфальтобетонные покрытия, которые не разрушают структуру покрытия, а лишь деформируют его. К их числу относятся следующие технологические приемы:

а) распределение и вдавливание частиц щебня в размягченный слой асфальтобетонной смеси с помощью специального комплекта оборудования;

б) формирование крупнорельефной структуры (например, похожей на кирпичную кладку, брусчатку, булыжник и др.) путем обработки свежеуложенного покрытия накаткой формообразующим инструментом;

в) лазерная обработка покрытия для удаления слоя битума и обнажения зерен каменного материала.

Значительно более энергоемкими являются методы создания шероховатой поверхности отвержденных цементобетонных покрытий.

Методы и оборудование *для восстановления слоя износа* и заданной степени шероховатости покрытий следует классифицировать по следующим признакам:

– *по способу совмещения вяжущего и щебня* – раздельное и синхронное;

– *по способу передвижения распределительного оборудования* – навесное, прицепное и самоходное оборудование.

8.3.1 Машины для технологии раздельного распределения материалов

Традиционная *раздельная технология* поверхностной обработки АБ покрытий с использованием битумов или битумных эмульсий предусматривает раздельное нанесение компонентов: сначала на подготовленное покрытие

дороги разливают или распыляют органическое вяжущее, а затем по нему распределяют частицы щебня с последующим уплотнением. Имеется несколько способов раздельной технологии, которые различаются между собой последовательностью операций и количеством слоев:

1) однослойная обработка с розливом вяжущего и распределением щебня одной или двух (крупной и мелкой) фракций с уплотнением слоя;

2) двухслойная обработка с последовательным нанесением и уплотнением двух слоев, состоящих из щебня крупной и мелкой фракций и вяжущего.

Для реализации этой технологии необходим комплект дорожной техники, включающий *автогудронатор* для распределения битума, *щебнераспределитель* и *каток* для уплотнения обработанного слоя.

Автогудронаторы (АГ) предназначены для доставки органического вяжущего (битума или битумной эмульсии), его разогрева и дозированного распределения по поверхности дорожного покрытия. АГ содержит емкость для вяжущего, установленную на пневмоколесном шасси, а также системы подогрева, перекачки и распределения вязущего.

АГ классифицируют по следующим признакам:

– *по назначению* – дорожно-ремонтные и дорожно-строительные;

– *по способу передвижения* – прицепные, полуприцепные и самоходные (собственно автогудронаторы);

– *по вместимости цистерны* (л) – малой (до 4000), средней (до 9000) и большой (более 9000);

– *по приводу битумного насоса* – от двигателя базового тягача и от отдельного двигателя.

В СНГ для ремонтных и строительных работ на дорогах выпускают АГ, имеющие вместимость цистерн в пределах от 4000 до 15000 л.

Для прицепных и полуприцепных гудронаторов используют, как правило, автомобильные прицепы, полуприцепы и специальные одноосные тележки.

Самоходные АГ монтируют на шасси автомобилей или на пневмоколесных тягачах. На рисунке 8.19 представлена схема самоходного АГ, к основным агрегатам которого относятся цистерна для вяжущего 3, а также топливная 6 и распределительная 14 системы. Цистерна представляет собой сварную стальную конструкцию овальной формы, облицованную теплоизолирующим слоем нетканого стекловолокнистого материала (толщиной до 50 мм) и стальным листом. Внутри цистерны устанавливают перегородки для уменьшения динамических нагрузок на ее торцевые стенки при переменной скорости движения АГ. Она имеет систему обогрева горячими газами, которые образуются при сгорании топлива в горелках и проходят по жаровым трубам и распределительной системе для битума. Топливная система состоит из топливного бака, топливопровода, воздуховода и горелок (стационарных и переносных).

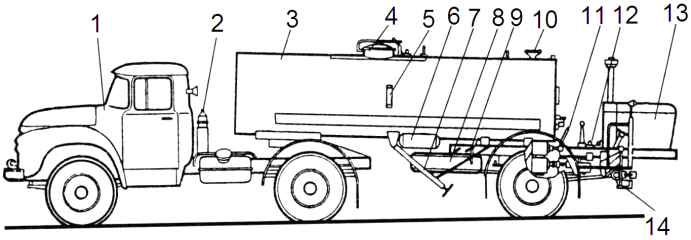


Рисунок 8.19 – Конструктивная схема автогудронатора:
1 – базовое шасси; 2 – огнетушитель; 3 – цистерна; 4 – заливной люк; 5 – термометр; 6 – топливная система; 7 – опорное устройство; 8 – запасное колесо; 9 – стояночный тормоз; 10 – штурвал открытия клапана; 11 – рычаг большого колеса; 12 – рычаг управления правым краном; 13 – двигатель; 14 – распределитель

На рисунке 8.20 представлена схема распределительной системы АГ, которая включает насос 14 для перекачки вяжущего, трубопроводы и краны, разливную распределительную рампу 13 с форсунками, а также ручной распределитель для устранения возможных дефектов.

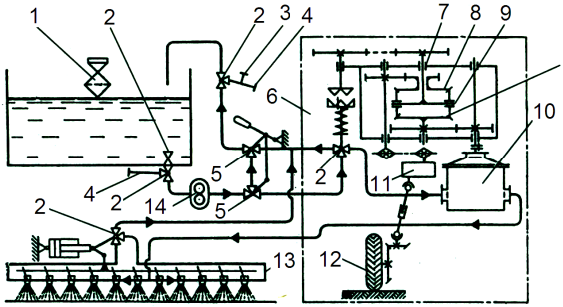


Рисунок 8.20 – Дозировочно-распределительная схема АГ:
1 – люк цистерны; 2 – кран; 3 – штуцер; 4 – трубопроводы выдачи и приема вяжущего; 5 – циркуляционный кран; 6 – система ОПР; 7 – выходной вал; 8 – солнечная шестерня; 9 – ось сателлитов; 10 – расходомер; 11 – вариатор; 12 – опорное колесо; 13 – распределительная рампа; 14 – битумный насос

Приведенная схема дозирования и распределения вяжущего обеспечивает его циркуляцию по различным трубопроводам (приемному, выдачи, напорному, возврата и промывки коммуникаций). Дозировочное устройство, включающее расходомер 10, имеет механический привод, который регулирует количество вяжущего с учетом угловой скорости опорного колеса 12 и ,как следствие, со скоростью передвижения машины.

В Беларуси применяют АГ отечественного и импортного производства. В их числе автогудронаторы моделей АРБ-7 и АРБ-8 на шасси автомобилей

МАЗ-5337 и МАЗ-53366-040 (производства Фанипольского опытно-механического завода)с цистернами вместимостью 7000 и 8000 л при ширине распределения вяжущего 4,0 и 4,3 м соответственно. Привод битумного насоса подачи вяжущего осуществляют от двигателя шасси через коробку отбора мощности, гидронасос и гидромотор

Щебнераспределители (ЩР), работающие в комплекте с автогудронаторами, предназначены для равномерного распределения минерального материала по обрабатываемой поверхности дорожного покрытия. Их целесообразно классифицировать по следующим признакам:

– *по способу передвижения* – навесные, прицепные и самоходные;

– *по типу ходовой системы* – гусеничные и пневмоколесные;

– *по типу распределительного органа* – щелевые, тарельчатые, барабанные, шнековые и комбинированные;

– *по вместимости бункера (м^3)* – малой (до 5), средней (5–10) и большой (более 10).

При раздельном совмещении вяжущего и щебня ЩР должны отвечать ряду требований. Во-первых, их производительность должна быть равной или кратной производительности машин, составляющих комплект по устройству дорожной одежды. Во-вторых, ширина распределения щебня должна соответствовать ширине распределения вяжущего. В-третьих, ЩР должны обеспечивать требуемый поперечный профиль и равномерность распределения щебня по обрабатываемой поверхности.

В качестве распределительного устройства используют, как правило, комбинированные рабочие органы, состоящие из шнекового питателя и распределительного барабана.

Навесные ЩР имеют наиболее простую конструкцию и представляют собой бункеры с устройством для дозирования и распределения щебня. Для реализации раздельной технологии используют ЩР, агрегатируемые с автомобилями – самосвалами в качестве навесного оборудования.

Дорожные организации нашей страны эксплуатируют ряд моделей ЩР подобного типа. В их числе ЩРД-3.5; ЩРДС-1400, собранные из узлов и агрегатов фирмы «SECMAIR» (Франция), и ЩРД-1400, собранные из отечественных комплектующих (производства ГП «Дорвектор» Молодечно).

Щебнераспределитель ЩРДС-1400 (ЩРД-1400), представленный на рисунке 8.21, устанавливают на самосвал МАЗ-5551 вместо заднего борта кузова и подключают к электро-, пневмо- и гидросистемам автомобиля. Управление его работой производят с площадки оператором при поднятом кузове самосвала. Дозировочно-распределительное устройство включает шнековый питатель, распределительный вал, щель и заслонки. Ширину распределения щебня регулируют в пределах от 160 до 3180 мм с помощью шиберных заслонок, управляемых пневмоцилиндрами.

Рисунок 8.21 – Щебнераспределитель ЩРДС-1400 (ЩРД-1400)

Примером *прицепного ЩР* может служить конструкция щебнераспределителя ЩРД-3.5, представленного на рисунке 8.22.

Рисунок 8.22 – Щебнераспределитель ЩРД-3.5

Его агрегатирование с автомобилем осуществляют посредством легкосъемного прицепного устройства (дышла), которое связывает обода задних колес самосвала с колесными дисками ходового оборудования щебнераспределителя. Такая конструкция сокращает простои при сборке и позволяет использовать различные базовые машины (МАЗ-5551, КАМАЗ-55111 и др.).

На рисунке 8.23 приведена принципиальная схема этого распределителя, смонтированного на раме двухосной тележки. На передней оси установлены обрезиненные приводные опорные колеса 7, на задней – опорные колеса 6 малого диаметра. Бункер 3 представляет собой емкость (объемом 2,1 м^3) из листовой стали, снабженную дозировочно-распределительной системой (шнеки, заслонки, валок), которая распределяет щебень по ширине дорожного полотна в интервале от 0,25 до 3,5 м. В бункере установлены шнековые питатели 8 с левой и правой навивками.

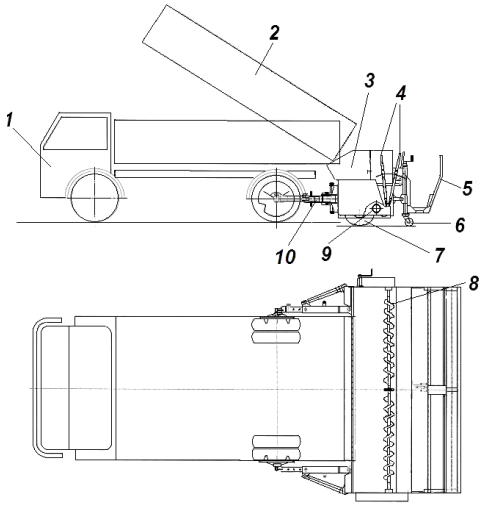


Рисунок 8.23 – Принципиальная схема щебнераспределителя ЩРД-3.5:
1 – базовый самосвал; 2 – кузов; 3 – бункер; 4 – рычаги привода рабочего оборудования; 5 – откидная площадка оператора; 6 – опорное колесо; 7 – приводное опорное колесо; 8 – шнек; 9 – распределительный валок; 10 – дышло

Для дозирования распределяемого материала служат поворотные шиберные заслонки, смонтированные на валу. Ширина одной заслонки составляет 0,25 м. Для изменения ширины распределения (т.е. ширины просыпной щели) закрывают необходимое число заслонок. Распределительный валок 9 обеспечивает равномерное распределение щебня по дорожному полотну. Управление всеми рабочими органами (обоими шнеками, шиберными заслонками, валком) осуществляют два оператора рычагами 4 с рабочей площадки 5.

Привод вращающихся рабочих органов распределителя (шнеков и валка) осуществляют от опорных обрезиненных колес через коробки реверсивных передач и цепные передачи.

Подачу щебня в зону распределения производят при поднятом кузове самосвала. Базовый автомобиль в рабочем режиме движется задним ходом со скоростью 3–5 км/ч, что обеспечивает производительность в пределах 8750–12250 м^2 или 2500–3500 погонных метров поверхностной обработки в смену.

Самоходные ЩР имеют пневмоколесное шасси, на которое устанавливают рабочее оборудование, в том числе бункер для щебня, питатель в виде транспортера, распределительное оборудование (вал, шнек или барабан) с вибрационным воздействием или без него, а также гидросистему управления параметрами и положением рабочих органов. На рисунке 8.24 представлена принципиальная схема одного из вариантов расположения рабочих органов ЩР. Подачу щебня в приемный бункер 6 производят автосамосвалами. Далее с помощью ленточного транспортера 8 щебень поступает в расходный бункер 1, снабженный распределительным устройством в виде шнека 9 и барабана 2. Шнек состоит из двух секций с левой и правой навивками, которые при вращении обеспечивают перемещение щебня от середины бункера к его краям. Распределительный барабан 2 представляет собой гладкий вал, расположенный под шнеком. При вращении он подает щебень к щели бункера. Плотность распределения щебня (по обработанной битумом поверхности покрытия) обеспечивается скоростью вращения барабана, шириной щели и положением заслонок, установленных на шарнирах в нижней части бункера.

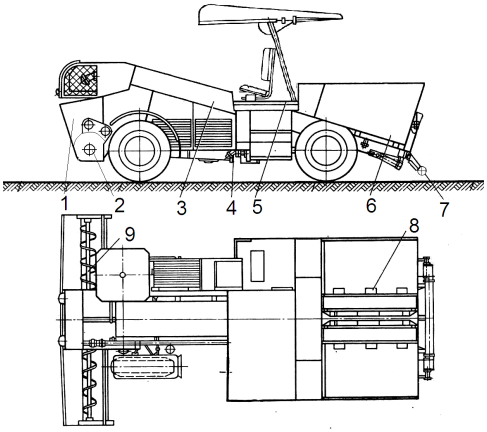


Рисунок 8.24 – Конструктивная схема щебнераспределителя:
1 – расходный бункер;
2 – распределительный вал;
3 – рама транспортера;
4 – гидросистема;
5 – система управления;
6 – приемный бункер;
7 – упорная балка;
8 – ленточный транспортер-питатель; 9 – распределительный шнек

Самоходные ЩР выпускает ряд фирм, но в ограниченном ассортименте. Например, фирма «Bomag» производит самоходные ЩР, которые имеют распределительно-дозировочное устройство с изменяющейся шириной распределения щебня в интервале от 2,5 до 4,5 м (при рабочих скоростях машины до 6 км/ч). Для повышения качества распределения щебня предусмотрено вибрационное воздействие на рабочие органы.

В СНГ используют самоходные ЩР на базе трактора МТЗ-80/82 (марки Т-224 производства Мамонтовского опытно-экспериментального завода). На рисунках 8.25 и 8.26 представлены конструктивная и кинематическая схемы ЩР этой марки. Он выполнен в виде переднеприцепного устройства к трактору 11 и представляет собой бункер 2 для щебня (грузоподъемностью 5 т), смонтированный на раме одноосной тележки.

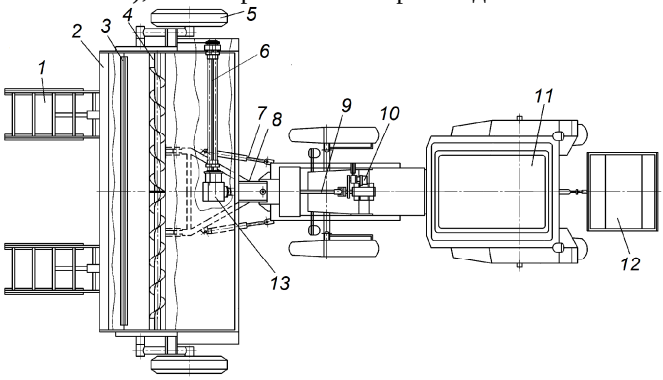


Рисунок 8.25 – Конструктивная схема щебнераспределителя Т-224:
1 – откидной трап для заезда самосвала; 2 – бункер; 3 – распределительный барабан; 4 – шнек-питатель; 5 – опорное колесо; 6 – вал привода цепных передач; 7 – гидроцилиндр поворота ЩР; 8 – дышло; 9 – передний вал отбора мощности; 10 – гидронасос; 11 – базовый трактор; 12 – прицепной каток; 13 – редуктор

Поворот ЩР производят, изменяя его положение относительно базового трактора при помощи пары гидроцилиндров 7. В нижней части бункера установлены шнековый питатель 4 и распределительный вал 3, которые распределяют щебень на полосе шириной 3,5 м. Привод шнека 12 и барабана 11 (см. рисунок 8.26) осуществляют от вала отбора мощности 1 трактора через карданную передачу 3, двухступенчатый коническо-цилиндрический редуктор 6 и цепные передачи 9 и 10, что обеспечивает распределение щебня в интервале рабочих скоростей от 1,6 до 5,6 км/ч.

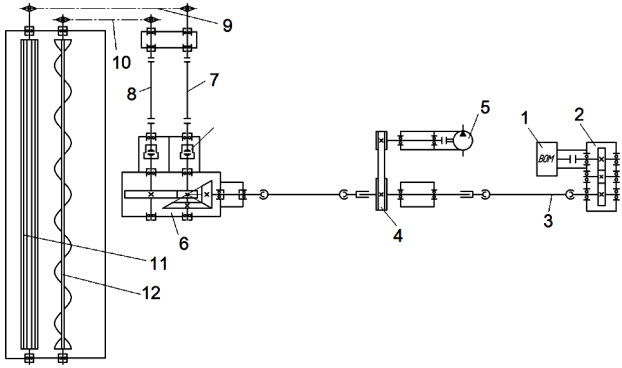


Рисунок 8.26 – Кинематическая схема привода рабочих органов щебнераспределителя Т-224:

1 – вал отбора мощности; 2 – редуктор отбора мощности; 3 – карданная передача; 4 – ременная передача привода гидронасоса; 5 – гидронасос; 6 – редуктор привода рабочих органов; 7 – вал привода распределительного барабана; 8 – вал привода шнека; 9, 10 – цепные передачи привода барабана и шнека; 11 – распределительный барабан; 12 – шнек

Часто функции самоходных щебнераспределителей выполняют битумощебнераспределители, работающие только в режиме распределения щебня.

8.3.2 Машины для технологии синхронного распределения материалов

Технология синхронного распределения вяжущего и щебня, которая приобретает все большее распространение, является менее энергоемкой, чем раздельная технология. Кроме того, она обеспечивает минимальный разрыв во времени между нанесением слоя вяжущего и слоя щебня, что способствует улучшенному взаимодействию компонентов и повышенной прочности их сцепления, а также увеличению долговечности дорожной одежды.

Для ее реализации используют *битумощебнераспределитель* (БЩР), который совмещает функции автогудронатора и распределителя щебня, и *каток* с гладкими вальцами для уплотнения нанесенного материала.

БЩР классифицируют по следующим признакам:

– *по параметрам бака* для вяжущего и *бункера* для щебня – малого, среднего и большого типоразмера;

– *по механизму загрузки щебня* – с использованием загрузочных машин и самозагрузочного оборудования;

– *по типу шасси* – на шасси грузового автомобиля, на прицепе и полуприцепе.

В СНГ, США, Франции, Германии и Швеции серийно выпускается дорожная техника для выполнения работ по устройству шероховатых покрытий по синхронной технологии. Как правило, БЩР включает пневмоколесный тягач и двухосный полуприцеп с рабочим оборудованием. Технологическое рабочее оборудование содержит следующие основные агрегаты:

1) *агрегат подачи и распределения вяжущего*, который включает *теплоизолированную емкость* для битума (или другого вяжущего) *с системой его нагрева* до необходимой температуры (до 200 °С), *фильтр, битумонасос, битумопровод с распределительной гребенкой*, на которой установлены форсунки, обеспечивающие розлив вяжущего (с гарантированным перекрытием струй по высоте), а также *систему очистки* коммуникаций от остатков вяжущего путем промывки (например, дизельным топливом);

2) *агрегат подачи и распределения щебня*, включающий *бункер* для щебня, *систему его равномерного распределения* по ширине обрабатываемой полосы, состоящую из *заслонок* и *распределительного барабана*, который обеспечивает точное регулирование подачи щебня на обрабатываемую полосу в зависимости от его фракции и удельного расхода (в ряде случаев агрегат включает шнек-питатель);

3) *автоматизированную систему управления* рабочими процессами с помощью бортовых компьютеров.

В качестве примера основных агрегатов и систем машины подобного типа целесообразно привести БЩР марки ДС-180, конструктивная схема которого приведена на рисунке 8.27. Он представляет собой автопоезд в составе автомобильного тягача КамАЗ-54115 и полуприцепа. На его раме установлено следующее оборудование: битумная цистерна и битумопровод с распределительной гребенкой и битумным насосом, механизм загрузки и бункер-накопитель щебня, щебнераспределитель и уплотнитель щебня. Блочно-модульная компоновка БЩР позволяет использовать этот комплекс для других технологий восстановления покрытий с минимальными переналадками. Рабочая скорость комплекса составляет 4–13 км/ч. На рисунке 8.28 приведена кинематическая схема БЩР.

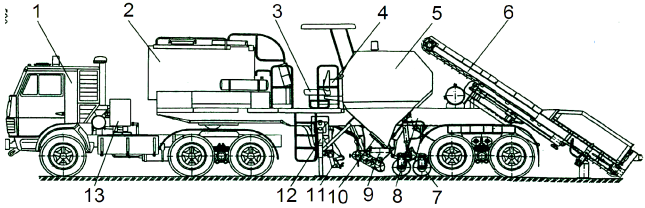


Рисунок 8.27 – Конструктивная схема битумощебнераспределителя:
1 – тягач; 2 – гудронатор; 3 – площадка оператора; 4 – панель управления; 5 – оборудование для распределения щебня; 6 – погрузчик; 7 – валец для уплотнения щебня; 8 – полуприцеп; 9 – щебнераспределитель; 10 – шибер-дозатор; 11 – распределитель битума; 12 – опорное устройство; 13 – бак с рабочей жидкостью для гидросистемы

Агрегат распределения вяжущего (битума или битумной эмульсии) включает теплоизолированную битумную цистерну, которая оборудована поплавковым указателем уровня вяжущего со звуковой сигнализацией верхнего уровня наполнения цистерны, а также устройством, уравнивающим давление внутри цистерны с атмосферным давлением. Вяжущее подогревают через жаровую трубу стационарной горелкой на дизельном топливе. Подачу топлива к горелке производят сжатым воздухом от пневмосистемы автомобиля. Топливный бак оборудован предохранительным клапаном, обеспечивающим давление сжатого воздуха 0,45–0,50 МПа, и топливным фильтром.

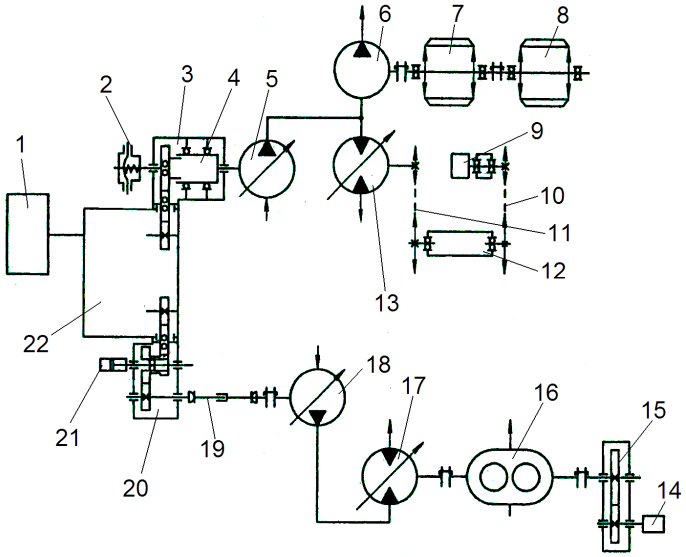


Рисунок 8.28 – Кинематическая схема битумощебнераспределителя:
1 – двигатель тягача; 2 – пневмокамера включения муфты; 3 – коробка отбора мощности; 4 – муфта включения гидронасоса; 5, 18 – гидронасосы; 6 – гидромотор привода транспортера; 7, 8 – ленты транспортера; 9 – преобразователь; 10, 11 – цепные передачи; 12 – щебнераспределитель; 13 – гидромотор привода щебнераспределителя; 14 – преобразователь; 15 – мультипликатор; 16 – битумный насос; 17 – гидромотор привода битумного насоса; 19 – карданная передача; 20 – коробка отбора мощности; 21 – пневмоцилиндр включения муфты; 22 – коробка передач тягача

На рисунке 8.29 представлена конструктивная схема *распределителя битума*. Битумопровод с битумным насосом и распределительной гребенкой обеспечивает давление и распределение потоков битума. Давление в системе создает шестеренный битумный насос, а равномерный розлив вяжущего обеспечивает распределительная гребенка циркуляционного типа

(при ширине распределения 2,66 м). В ее нижней части установлено 14 форсунок с запорными соплами, которые изменяют удельный расход битума в пределах от 0,7 до 1,3 л/м^2. Разогрев гребенки производят циркуляцией горячего битума от битумного насоса. Очищают коммуникаци от остатков битума при помощи системы промывки дизельным топливом.

Механизм загрузки обеспечивает приемку щебня из самосвала и его загрузку в бункер-накопитель. Он представляет собой погрузчик с ленточным транспортером и приемным бункером с откидывающимися бортами для увеличения его вместимости. Щебень из приемного бункера через дозировочные окна, оборудованные регулировочными заслонками, попадает на две транспортерные ленты, которые перемещают щебень в бункер-накопитель.

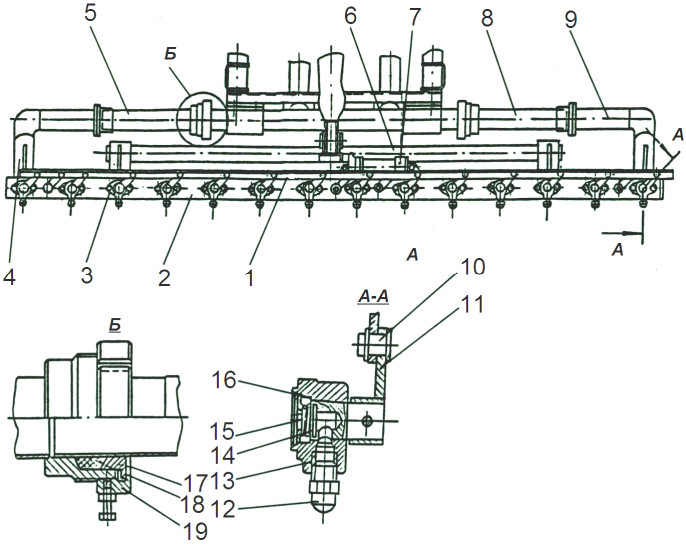


Рисунок 8.29 – Схема распределителя битума БЩР:
1 – рейка; 2 – распределитель; 3 – форсунка; 4, 5, 8, 9 – битумопроводы; 6 – поперечина; 7 – гидроцилиндр; 10 – ось; 11 – поводок; 12 – сопло; 13 – корпус; 14 – кольцо; 15 – пружина; 16 – пробка; 17 – букса; 18 – уплотнение; 19 – гайка

Накопитель щебня предназначен для приема и накопления щебня. Он состоит из двух частей: бункера-накопителя и нижнего бункера. Бункер-накопитель выполнен как единое целое с рамой полуприцепа. Нижний бункер снабжен шибер-дозатором для снижения давления щебня на ротор щебнераспределителя. Щебень из нижнего бункера попадает на ротор щебнераспределителя.

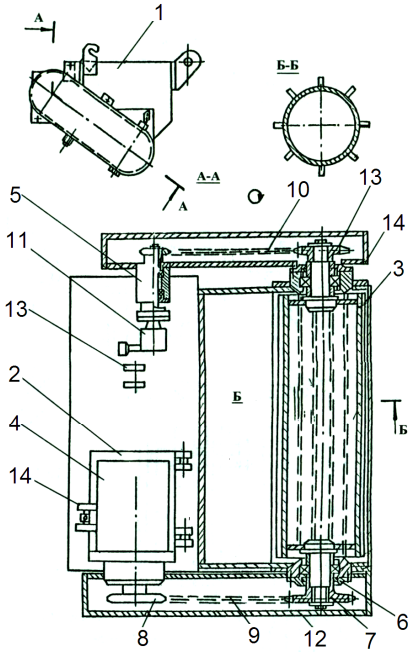


Рисунок 8.30 – Схема устройства для распределения щебня БЩР:
1 – бункер; 2 – плита; 3 – ротор; 4 – гидромотор; 5 – корпус; 6 – крышка; 7, 8 – звездочки; 9, 10 – цепи; 11 – преобразователь; 12 – защитный кожух; 13 – ухо; 14 – механизм регулировки натяжения цепи

Щебнераспределитель этой машины, представленный на рисунке 8.30, обеспечивает равномерное однослойное распределение щебня по дорожному полотну (при ширине 2500 мм). Привод ротора включает гидромотор и цепную передачу, что обеспечивает бесступенчатое регулирование частоты его вращения и подачи щебня на обрабатываемую поверхность. Частоту вращения ротора устанавливают в зависимости от скорости передвижения машины и удельного расхода щебня (от 7 до 30 кг/м^2).

Уплотнитель щебня, предназначенный для прикатки и предварительного уплотнения распределенного щебня, представляет собой три вальца, которые установлены на общей траверсе. Каждый валец оборудован скребками и снабжен системой смачивания водой для очистки его поверхности от налипания щебня и битума.

Технику для синхронного распределения компонентов выпускают несколько ведущих европейских фирм, в их числе «Secmair» (Франция), «L. Schafer» и «Breining» (Германия), «Savalko» (Швеция), а также российские «Кургандормаш», «Строммашина», «Бецема», «Росдортех» и др. Большая часть этих машин имеет расширенные технологические возможности, которые позволяют производить три основных вида работ:

1) однослойную поверхностную обработку;

2) ремонт мелких трещин, используя поверхностную обработку;

3) многослойную обработку с двойным распределением вяжущего.

В таблице 8.13 приведены технические характеристики некоторых БЩР.

Например, французская фирма «Secmair» выпускает БЩР различного назначения и типоразмеров («Chipsealer-19, -26, -32 и -40»). Эти машины предназначены для производства ремонтных работ в различных объемах в зависимости от вместимости емкости для вяжущего и бункера для щебня. Основное конструктивное различие моделей состоит в наличии или отсутствии операции самозагрузочного оборудования для щебня.

Таблица 8.13 – **Технические характеристики битумощебнераспределителей**

Марка и тип машины	Вместимость		Ширина обработки, м	Способ загрузки щебня
	бака для вяжущего, л	бункера для щебня, $м^3$		
Chipsealer-19 (на шасси)	2500	4,0	До 2,5	Погрузчиком, краном
Chipsealer-26 (п/прицеп)	3500	6,0	До 3,1	Погрузчиком, краном
Chipsealer-32 (на шасси)	6000	8,0	До 3,1	Самозагрузка краном с грейфером
Chipsealer-40 (п/прицеп)	6000	12,0	До3,85	Самозагрузка краном с грейфером
РД-701 (прицеп)	6000	6,0	До 3,5	Из самосвала
ДС-180 (п/прицеп)	4000	7,0	До 2,5	Самозагрузка из самосвала

Машина «Chipsealer-19», сборка которой освоена предприятием ФГУП «Росдортех», смонтирована на базе шасси МАЗ-5551. Она предназначена для производства ремонтных работ в малых объемах и содержит емкости для битума и щебня, а также систему распределителей для синхронной укладки компонентов на дорожное покрытие. Управление технологическим процессом осуществляют с помощью электропневматических микропроцессоров. Нагрев системы распределения битума (цистерны, битумного насоса, гребенки и трубопроводов) производят с помощью подогретого до необходимой температуры минерального масла, циркулирующего в этой системе. Масляный подогрев обеспечивает поддержание постоянной температуры вяжущего в интервале от 50 до 160 ^{o}С. В качестве вяжущего используют как битум, так и битумную эмульсию. В этих машинах интервал изменения ширины распределения материалов составляет 0,25 м. Система распределения вяжущего включает плоскоструйные форсунки, расположенные на поперечной рампе (в виде гребенки) на расстоянии друг от друга, которое обеспечивает перекрытие зон распыления на обрабатываемой поверхности. Каждая форсунка имеет возможность автономной работы (включения и выключения) за счет запорного сопла, что позволяет регулировать ширину распределения вяжущего. Система распределения щебня состоит из кузова, шнека-питателя, распределительного вала и шиберных заслонок, с помощью которых регулируют ширину распределения щебня. В состав технологического оборудования входят гибкий рукав (длиной 5 м) для ручного распределения вяжущего и бункер небольшого объема для подачи щебня вручную. Наличие системы ручной подачи вяжущего и щебня позволяет применять это оборудование для ямочного ремонта дорожных покрытий.

Технические решения фирмы «Secmair» реализованы также в БЩР марки РД-701 (производства ОАО «Дороги России»). Рабочее оборудование машины агрегатируется с трактором Т-150 и включает бункер для щебня с щебнераспределителем, теплоизолированную емкость для вяжущего с системами подогрева и распределения вяжущего, а также прикатывающие катки для предварительного уплотнения щебня. Привод шнекового питателя и вала щебнераспределителя, а также насоса подачи вяжущего осуществляют от гидросистемы базового трактора. Для изменения ширины полосы распределения щебня в бункере имеется 14 шиберных заслонок, управление которыми осуществляет оператор с рабочей площадки. Бункер опирается на три прикатывающих катка, оснащенных скребками и системой орошения для очистки от налипающего материала.

Наиболее производительной техникой для поверхностной обработки дорожных покрытий являются ремонтные автопоезда. Автопоезд состоит из тягача, на котором смонтирована емкость для вяжущего с системами его подогрева и распределения, и прицепной части, металлоконструкция которой образует бункер с распределителем щебня, оборудованный ленточным элеватором. Как правило, машины оснащают системой автоматического дозирования и распределения материалов, которая осуществляет поверхностную обработку по технологической карте, введенной в бортовой компьютер машины.

Комплекс «Chipsealer-40» с наибольшей шириной рабочей зоны 3,85 м представляет собой автопоезд длиной 13 м и массой 35 т с седельным тягачом и двухосным прицепом, на котором установлено рабочее оборудование. Система распределения вяжущего позволяет производить подачу материала (по заданной программе с помощью бортового компьютера) как по всей зоне распределения, так и на изменяемой по ширине полосе. Это достигается индивидуальным управлением работы отдельных форсунок и заслонок, а также перемещением гребенки в горизонтальном направлении.

Фирма «Savalco» выпускает ремонтные автопоезда, которые базируются на шасси трехосных грузовых автомобилей (модели HH110T COMBI TELESPRAY 480). На его раме установлена теплоизолированная емкость для вяжущего объемом 11000 л, оборудованная системой подогрева, а также насос и коммуникации подачи вяжущего в распределительное устройство. С базовой машиной агрегатируют прицепную часть, которая представляет собой бункер для щебня (вместимостью 10 м^3). Кроме того, на прицепной части смонтированы устройства для распределения щебня и вяжущего, позволяющие их распределять на ширину до 4,8 м. Отметим важную конструктивную особенность системы распределения, которая отличает автопоезд от других машин: она оснащена гидравлическим телескопическим устройством, которое обеспечивает изменение ширины в интервале от 2,5 до 4,8 м. Прицепная часть оборудована ленточным элеватором, загружающем бункер

из приемного лотка, в который щебень поступает из автосамосвалов. Привод ленточного элеватора, вала щебнераспределителя, питателя и насоса подачи вяжущего осуществляют гидромоторами, привод шиберных заслонок щебнераспределителя и кранов управления подачей вяжущего в секции форсунок – пневмоцилиндрами. Насос гидросистемы и компрессор пневмосистемы приводят от автономной силовой установки, смонтированной на прицепной части. Управление ремонтным поездом осуществляет водитель тягача. Производительность ремонтного поезда составляет до 28800 м^2 в смену.

Фирма «Schafer» выпускает несколько типоразмеров ремонтных поездов для поверхностной обработки (RZA-4000, -5500, -8000 и -14000), которые различаются шириной распределения материалов, а также объемами емкости для вяжущего и бункера для щебня. Модель RZA-4000 включает в себя емкость для вяжущего объемом 8000 литров, оборудованную теплоизоляцией и системой подогрева, которая смонтирована на шасси грузового автомобиля, и прицепную часть с бункером для щебня объемом 5,5 м^3, для загрузки которого имеется ленточный элеватор. В качестве тягача может быть использован автомобиль-битумовоз или автогудронатор. В бункере установлены шнековые питатели для подачи щебня, приводимые гидромоторами. Щебнераспределительное устройство (шириной от 0,4 до 2,4 м) включает распределительный вал (с приводом от гидромотора) и шиберные заслонки, управляемые пневмоцилиндрами. Оно оснащено прикатывающими валками, также управляемыми пневмоцилиндрами. Устройство распределения вяжущего разделено на восемь групп форсунок, имеющих возможность независимого включения и выключения, позволяя изменять ширину розлива. Вяжущее подают в форсунки (под давлением 6 атм) с помощью центробежного битумного насоса. Поезд располагает автономной силовой установкой, приводящей электрогенератор и гидронасос. Питание сжатым воздухом узлов машины осуществляют от пневмосистемы тягача. Производительность поезда составляет 14400 м^2 поверхностной обработки в смену.

Ремонтный поезд RZA-14000 отличается от остальных моделей тем, что все оборудование смонтировано на полуприцепе, агрегатируемом с седельным тягачом. Максимальная ширина распределения компонентов составляет 4 м. На полуприцепе установлен обогреваемый бак на 14000 л и бункер для щебня на 18 т. Вяжущее подают насосом на распределительную рампу в виде балки (шириной до 4 м) с набором форсунок. Подачей вяжущего к форсункам управляет бортовой компьютер. За рампой розлива вяжущего расположен щебнераспределитель, который обеспечивает подачу щебня по шнекам к выпускным золотникам, каждым из которых управляет бортовой компьютер. За щебнераспределителем установлены прикаточные валки.

К достоинствам ремонтных поездов следует отнести наличие принудительной системы дозирования щебня через распределительный вал, воз-

можность бесступенчатого регулирования количества компонентов для обеспечения заданного состава смеси, обслуживание минимальным количеством рабочих.

О преимуществах синхронной технологии свидетельствуют следующие цифры. При использовании БЩР (например, марки ДС-180) расход вяжущего снижается на 10–12 %, расход щебня – на 40–45 %. При этом срок службы дорожного покрытия увеличивается на 30 %, т.е. до 4–5 лет.

Уплотнение свежеуложенного шероховатого слоя производят, как правило, легкими или средними пневмоколесными катками с гладкими шинами или катками с обрезиненными металлическими вальцами.

Расчет автогудронаторов включает определение основных параметров технологического оборудования, тепловой расчет, тяговый расчет, баланс мощности, расчет гидросистемы управления агрегатами и рабочими органами.

При оценке основных параметров оборудования определяют объем цистерны для битума и устанавливают рабочие скорости розлива битума по обрабатываемой поверхности.

Объем цистерны (л)

$$V_{ц} = 1{,}25\ ПT/(8 \cdot 60\ к_{в})\ , \qquad (8.33)$$

где П – заданная сменная производительность АГ, л/мин;

T – продолжительность одного рейса, мин;

$к_{в}$ – коэффициент использования времени, $к_{в}$ = 0,85…0,95.

Эту продолжительность (мин) можно рассчитать по формуле

$$T = \frac{1}{60}\left(t_{н} + \frac{L}{\upsilon_{г}} + \frac{L}{\upsilon_{п}} + t_{р} + t_{м} + t_{п}\right), \qquad (8.34)$$

где $t_{н}$ – время заполнения цистерны битумом, $t_{н}$ = 600…900 с;

L – длина пути транспортирования битума, м;

$\upsilon_{г}$ и $\upsilon_{п}$ – скорости движения груженого и порожнего АГ, м/с;

$t_{р}$ – время розлива битума по обрабатываемой поверхности;

$t_{м}$ – время маневрирования АГ на объекте, $t_{м}$ = 240…360 с;

$t_{п}$ – время на подготовку АГ и розлив битума, $t_{п}$ = 300…360 с.

Время розлива (с) битума

$$t_{р} = V_{ц}/(\upsilon_{р} q_{б} l) = V_{ц} / П_{бн}\ , \qquad (8.35)$$

где $\upsilon_{р}$ – рабочая скорость АГ при розливе, м/с;

$q_{б}$ – норма розлива битума, л/м^2;

l – ширина розлива, м;

$П_{бн}$ – производительность битумного насоса, л/с.

Мощность привода (Вт) битумного насоса

$$N_{н} = П_{т} p_{р} / \eta_{н} , \qquad (8.36)$$

где $П_{т}$ – теоретическая (расчетная) подача насоса, л/с;

$p_{р}$ – расчетное суммарное давление , создаваемое насосом, Па;

$\eta_{н}$ – КПД трансмиссии от двигателя до насоса.

Суммарное давление

$$p_{р} = 1{,}1(p_{п} + \sum p_{м} + p_{рб}) , \qquad (8.37)$$

где $p_{п}$ – потери давления по длине трубопровода, МПа;

$\sum p_{м}$ – местные потери давления на отводах, кранах, вентилях и др., МПа;

$p_{рб}$ – давление при розливе битума, $p_{рб}$ = 0,5…0,6 МПа.

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

Рабочую скорость (м/с) гудронатора определяют с учетом характеристик битумного насоса по формуле

$$\upsilon_{р} = П_{бн} / (60 q_{б} l) , \qquad (8.38)$$

где $П_{бн}$ – производительность битумного насоса, л/с;

$q_{б}$ – требуемая концентрация вяжущего на обрабатываемой поверхности, $q_{б}$ = 0,5…13,0 л/м^2;

l – ширина розлива, равная длине распределительной рампы (трубы), м.

Тепловой расчет автогудронатора включает решение следующих задач:

– расчет толщины слоя теплоизоляции цистерны;

– расчет отопительной системы, которая обеспечивает нагрев битума до заданной температуры за определенное время.

Толщину теплоизоляционного слоя находят по следующей методике.

Теплоту (Дж), которую нагретый битум отдает в течение часа в окружающую среду, определяют по формуле

$$Q = m_{б} c_{б} (t_{1} - t_{2}) , \qquad (8.39)$$

где $m_{б}$ – масса битума, кг;

$c_{б}$ – удельная теплоемкость битума, $c_{б}$ = 2100 Дж/(кг ·град) при 150–180 $^{\circ}$С;

t_{1} – начальная температура битума, ^{o} С;

t_{2} – температура битума после 1 часа нахождения цистерны на воздухе, ^{o}С.

В свою очередь, эта теплота (Дж) проходит через поверхность цистерны, т.е.

$$Q = к_т F_ц (t_б - t_в)\,, \qquad (8.40)$$

где $к_т$ – коэффициент теплопередачи, Вт/(м^2 град);

$F_ц$ – площадь поверхности цистерны, м^2;

$t_б$ – средняя температура битума в цистерне, ^{o} С;

$t_в$ – температура окружающей среды (воздуха), ^{o} С .

Отсюда

$$к_т = m_б c_б (t_1 - t_2) / F_ц (t_б - t_в)\,. \qquad (8.41)$$

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

$$F_ц = F_{бок} + 2F_{дн}\,. \qquad (8.42)$$

Площадь боковой поверхности при эллиптической форме цистерны можно найти по формуле

$$F_{бок} = \pi L \sqrt{2(a^2 + b^2) - \frac{1}{4}(a - b)^2}\,, \qquad (8.43)$$

где L – длина цистерны, м;

a и b – полуоси эллипса, м.

Площадь днища

$$F_{дн} = \pi ab\,. \qquad (8.44)$$

Цистерна имеет стальную стенку, затем теплоизоляционный слой и наружный стальной кожух. Для этого случая коэффициент теплопередачи

$$к_т = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}}\,, \qquad (8.45)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от битума к стенке цистерны, $\alpha_1 = 97{,}1$ Вт / (м$^2 \cdot$ град) ;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от стального кожуха к воздуху, Вт/(м^2·град);

δ_1 – толщина стальной стенки цистерны, $\delta_1 = 0{,}004$ м ;

δ_2 – толщина теплоизоляционного слоя стекловолокнистого материала, м (ее необходимо определить);

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

λ_1 – коэффициент теплопроводности стали, $\lambda_1 = 46{,}5...58{,}2$ Вт/(м $\cdot$ град);

λ_2 – коэффициент теплопроводности стекловолокнистого материала, $\lambda_2 = 0{,}044$ Вт/(м $\cdot$ град) .

Коэффициент теплоотдачи от наружного кожуха к воздуху, зависящий от скорости движения АГ, находят по формуле

$$\alpha_2 = 4{,}24\, \upsilon_{ц}^{0{,}805} / D_{ц}^{0{,}195}, \qquad (8.46)$$

где $\upsilon_{ц}$ – скорость движения машины, $\upsilon_{ц} = 4...5$ м/с;

$D_{ц}$ – средний диаметр цистерны, м.

Чтобы найти δ_2, т.е. толщину теплоизоляции, необходимо приравнять выражения (8.41) и (8.45).

При расчете отопительной системы цистерны с битумом, которая состоит из жаровых труб, принимают следующие допущения: битум в цистерне должен нагреваться от температуры 120 °С (t_1) до температуры 180 °С (t_2):

а) за 0,5 ч при вместимости цистерны до 10 м^3;

б) за 1 ч при вместимости более 10 м^3.

Количество теплоты (Дж), необходимое для нагрева битума за 1 ч при указанной разности температур,

$$Q = m_{б} c_{б} (t_2 - t_1). \qquad (8.47)$$

Соответственно, для нагрева битума в течение 0,5 ч требуется в два раза меньшее количество теплоты, т.е. 0,5Q.

Потери теплоты по различным причинам, включая неполноту сгорания, уходящие газы и др., $q_{п} = 28...31\,\%$ или $q_{п} = 0{,}28…0{,}31$.

Эти потери можно выразить через теплоту сгорания

$$q'_{п} = q_{п} Q_{н}^{р}, \qquad (8.48)$$

где $Q_{н}^{р}$ – низшая теплота сгорания, Дж/кг.

Если выражение (8.48) характеризует потери тепла, то на подогрев битума приходится 0,69–0,72, т.е. полезную теплоту $q_{пол}$ можно найти из выражения

$$q_{пол} = (1 - q_{п}) Q_{н}^{р}. \qquad (8.49)$$

Температура горения топлива

$$Q_{н}^{р} - q'_{п} + Q_{В} + Q_{т} = t_{г} \sum_{1}^{n} q_i c_i, \qquad (8.50)$$

где $Q_{в}$ – теплота, внесенная в топку 1 кг воздуха, Дж/кг;

$Q_{т}$ – теплота, внесенная в топку 1 кг топлива, Дж/кг;

q_i – массовая доля составных частей продуктов сгорания 1 кг топлива, кг;

c_i – удельная теплоемкость этих продуктов, Дж/(кг · град).

В свою очередь, $Q_в$ и $Q_т$ можно определить по следующим формулам:

$$Q_в = \alpha_{из} c_в t_в L_т ,$$
$$Q_т = c_т t_т , \qquad (8.51)$$

где $\alpha_{из}$ – коэффициент избытка воздуха;

$c_в$ и $c_т$ – удельная теплоемкость воздуха и топлива, $Дж/(кг \cdot град)$;

$t_в$ и $t_т$ – температура воздуха и топлива, ^{o} С;

$L_т$ – масса воздуха для сжигания 1 кг топлива, кг.

С учетом выражений (8.51) из формулы (8.50) температура горения

$$t_г = \frac{Q_н^р - q'_п + \alpha_{из} c_в t_в L_т + c_т t_т}{\sum_1^n g_i c_i} . \qquad (8.52)$$

Зная температуру горения, можно найти площадь поверхности жаровых труб

$$F_{тр} = \frac{B \sum_1^n g_i c_i}{к_т} \lg \frac{t_г - t_б}{t_{ух} - t_б} , \qquad (8.53)$$

где $t_б$ – средняя температура битума,^{o}С,

$t_{ух}$ – температура уходящих газов, $t_{ух}$ = 300…350 ^{o}С;

$к_т$ – коэффициент теплопередачи от жаровых труб к битуму, $Вт/(м^2 \cdot град)$,

$$к_т = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} , \qquad (8.54)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от горячих газов к железу жаровых труб,

$\alpha_1 = 23...69$ $Вт/(м^2 \cdot град)$;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от железных труб к битуму, $\alpha_2 = 17{,}1$ $Вт/(м^2 \cdot град)$;

δ – толщина стенок жаровых труб, $\delta = 0{,}005$ м;

λ – коэффициент теплопроводности железа, $\lambda = 46...57$ $Вт/(м \cdot град)$.

Оценив площадь поверхности труб по формуле (8.53), можно задать их диаметр с учетом известных рекомендаций и определить длину.

Расчет самоходного щебнераспределителя включает следующее:

1) определение основных параметров машины, включая массу машины, характеристики приемного бункера и распределительного устройства, рабочие и транспортные скорости, мощность силовой установки;

2) тяговый расчет;

3) баланс мощности;

4) расчет гидросистемы управления ЩР.

Как правило, исходными данными для расчетов являются заданная производительность, а также ширина полосы распределяемого материала.

В расчетах основных характеристик агрегатов ЩР необходимо согласовывать производительность приемного и распределительного устройств с учетом вместимости бункера.

Основные параметры приемного бункера определяют конструктивно. Его ширина по верху обычно соответствует габаритам ЩР, а в нижней части зависит от габаритов транспортера-питателя. При проектировании бункера следует использовать откидные боковые борта. Вместимость бункера должна быть равной или кратной объему кузова автосамосвала или другого транспортного средства.

Рабочую скорость машины (м/с) при распределении щебня можно определить, исходя из заданной производительности,

$$\upsilon_{р} = 3600П_{э} /(к_{в} B_{щ} h_{щ}) , \qquad (8.55)$$

где $П_{э}$ – эксплуатационная производительность, м^3/ч;

$к_{в}$ – коэффициент использования по времени, $к_{в}$ = 0,85;

$B_{щ}$ – ширина укладываемого слоя щебня, м;

$h_{щ}$ – толщина укладываемого слоя, м.

Тяговый расчет состоит в определении сопротивлений, преодолеваемых ЩР в рабочем и транспортном режимах.

При движении машины в рабочем режиме к наиболее значимым относятся сопротивление перемещению машины и сопротивление перемещению груженого самосвала, а также сопротивление сил инерции при трогании с места ЩР и автосамосвала после вынужденных остановок.

Сопротивление (Н) *перемещению ЩР*

$$W_{пер} = (G_{щр} + G_{щ}^{б})(f_1 + i) , \qquad (8.56)$$

где $G_{щр}$, $G_{щ}^{б}$ – силы тяжести щебнераспределителя и щебня в бункере, Н;

f_1 – коэффициент сопротивления перемещению машины по слою асфальтобетона, f_1 = 0,03…0,07;

i – наибольший продольный уклон, i = 0,03…0,07.

Сопротивление (Н) *перемещению груженого самосвала*

$$W_{с} = (G_{с} + G_{щ}^{с})(f_1 + i) , \qquad (8.57)$$

где $G_{с}$ и $G_{щ}^{с}$ – силы тяжести самосвала и щебня в его кузове, Н.

Сопротивление (Н) *сил инерции* ЩР и автосамосвала при возобновлении движения после остановок

$$W_{\text{ин}} = \frac{G_{\text{щр}} + G_{\text{щ}}^{\text{б}} + G_{\text{с}}}{g} \frac{\upsilon_{\text{р}}}{t_{\text{раз}}}, \qquad (8.58)$$

где $t_{\text{раз}}$ – время разгона до рабочей скорости, $t_{\text{раз}} = 1\ldots2$ с.

Таким образом, суммарная сила сопротивления движению

$$W = W_{\text{пер}} + W_{\text{с}} + W_{\text{ин}}. \qquad (8.59)$$

На первом этапе проектирования, зная общее сопротивление передвижению из формулы (8.59), можно определить мощность двигателя ЩР, когда еще не известны другие характеристики машины. Ее же можно использовать для проверочного расчета.

Более точный расчет дает оценка *баланса мощности*, который позволяет подобрать двигатель машины, обеспечивающий одновременное функционирование рабочего оборудования и перемещение ЩР. При этом следует учитывать мощности, затрачиваемые на приводы транспортеров-питателей и шнека, на гидрооборудование и передвижение ЩР и автосамосвала на рабочих скоростях.

Мощность (кВт) *на передвижение ЩР*

$$N_{\text{пер}} = W\upsilon_{\text{р}} / (1000\eta_{\text{тр}}), \qquad (8.60)$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии привода хода.

Мощность привода транспортера-питателя затрачивается на перемещение и подъем щебня, включая преодоление сил внутреннего трения частиц.

Мощность (кВт) *привода транспортера-питателя*

$$N_{\text{тп}} = \text{к}_{\text{д}}\omega_{\text{сп}}\rho gbhL\upsilon_{\text{ц}} / (1000\eta_{\text{птп}}), \qquad (8.61)$$

где $\text{к}_{\text{д}}$ – коэффициент динамичности, $\text{к}_{\text{д}} = 1{,}2\ldots1{,}3$;

$\omega_{\text{сп}}$ – коэффициент сопротивления перемещению смеси, $\omega_{\text{сп}} = 0{,}2...0{,}3$;

h – высота щели между питателем и заслонкой, м;

b, L – ширина и длина транспортера-питателя, м;

$\upsilon_{\text{ц}}$ – скорость цепи привода транспортера, м/с;

$\eta_{\text{птп}}$ – КПД привода транспортера-питателя.

Мощность (кВт) *привода шнека*

$$N_{\text{ш}} = \text{к}_{\text{р}}\text{к}_{\text{щ}}\text{к}_{\text{т}} gL_{\text{ш}}\Pi_{\text{ш}} / (3600\eta_{\text{пш}}), \qquad (8.62)$$

где $к_р$ – коэффициент, учитывающий расход щебня, $к_р = 0,6$;

$к_щ$ – коэффициент запаса, учитывающий подпор щебня под действием питателя, $к_щ = 1,5$;

$к_т$ – коэффициент, учитывающий технологические характеристики смеси, $к_т = 5$;

$L_ш$ – максимальный путь перемещения щебня вдоль шнеков по ширине машины, равный длине каждого шнека, м;

$П_ш$ – производительность распределительного шнека, т/ч;

$\eta_{пш}$ – КПД привода шнеков.

Производительность (т/ч) *шнека* оценивают по формуле

$$П_ш = 60 к_п к_з \rho D_ш^2 t_ш n_ш , \qquad (8.63)$$

где $к_п$ – коэффициент снижения производительности из-за проскальзывания материала, $к_п = 0,9$;

$к_з$ – коэффициент заполнения сечения шнека, $к_з = 0,7$;

ρ – насыпная плотность щебня, т/м^3;

$D_ш$ – диаметр шнека, $D_ш = 0,2…0,4$ м;

$t_ш$ – шаг шнека, $t_ш = D_ш$;

$n_ш$ – частота вращения шнека, $n_ш = 70…80$ об/мин.

Для обеспечения согласованности работы распределительного шнека и транспортера-питателя должно выполняться соотношение

$$П_ш=1,3П_{тп}. \qquad (8.64)$$

В расчет битумощебнераспределителя входит следующее*:*

1) определение основных параметров машины, включая массу и габариты машины, мощность силовой установки, рабочие и транспортные скорости машины;

2) подбор и определение характеристик технологического оборудования, в том числе вместимости цистерны для вяжущего и бункера для щебня, параметров агрегата распределения и перегрузочного устройства для щебня;

3) тепловой расчет агрегата подогрева и распределения вяжущего (битума или битумной эмульсии);

4) тяговый расчет;

5) баланс мощности;

6) расчет систем управления агрегатами и вспомогательным оборудованием.

Исходными данными для расчета являются производительность поверхностной обработки и ширина полосы обрабатываемого дорожного покрытия.

При расчете самоходного БЩР и его агрегатов целесообразно воспользоваться ранее приведенными расчетами автогудронаторов и щебнераспределителей.

При синхронном совмещении вяжущего и щебня агрегаты БЩР должны отвечать ряду требований. Во-первых, необходимо согласовывать производительность агрегатов распределения битума и щебня, чтобы обеспечить необходимое соотношение компонентов на обрабатываемой поверхности. Во-вторых, система управления должна обеспечить автоматическое регулирование технологических характеристик оборудования с учетом требуемой концентрации компонентов на поверхности обрабатываемого дорожного покрытия. В-третьих, необходима согласованность производительности перегрузочного и дозировочно-распределительного устройств для щебня. В-четвертых, следует учитывать необходимость изменения ширины полосы поверхностной обработки, В-пятых, целесообразно учитывать применение БЩР для различных технологических процессов поверхностной обработки и ремонта дорожной одежды.

Как было отмечено, поверхностную обработку дорожных покрытий с использованием битума и битумной эмульсии производят по различным технологиям в зависимости от состояния дорожной одежды, включая простую обработку поверхности с одно- или двукратной подсыпкой щебня или двойную поверхностную обработку. Конструктивные особенности многих БЩР позволяют производить полную поверхностную обработку дорожной одежды по приведенным технологиям, а также ее ремонт.

8.4 Машины для капитального ремонта асфальтобетонных покрытий

Как было отмечено, капитальный ремонт АБ покрытий производят *без удаления* и *с удалением старых покрытий.*

Традиционная технология ремонта *без удаления старых покрытий* незначительно отличается от рассмотренных в разд. 4 технологических процессов устройства АБ покрытий. В этом варианте капитального ремонта используют те же машины, которыми создают новые покрытия. Эти машины подробно рассмотрены в разд. 4.

Технология *с удалением старых покрытий* имеет два варианта: *без использования материала старого покрытия* и *с его повторным использованием.*

Технологический процесс ремонта без использования материала старого покрытия включает срезание материала покрытия и его транспортирование с места разработки автотранспортными средствами. Для срезания старого асфальтобетона используют самоходные «холодные» дорожные фрезы.

Самоходная дорожная фреза состоит из трех основных агрегатов:

– базового шасси;

– механизма фрезерования материала дорожной одежды;

– транспортирующей системы отфрезерованного материала (с его подборкой с помощью конвейера или без подборки).

Базовое шасси обеспечивает передвижение машины в рабочем и транспортном режимах. Механизм фрезерования включает фрезерный барабан с укрепленными на нем рыхлительными резцами (зубьями), которые срезают дорожное покрытие на заданную глубину. В рабочем режиме барабан вращают против часовой стрелки в направлении движения машины. В зависимости от вида транспортирующей системы отфрезерованный материал оставляют на дорожном полотне (с последующим удалением) или подают на ленту погрузочного конвейера и затем выгружают в кузов самосвала. После этого измельченный материал, как правило, отправляют на переработку и вторичное использование.

Дорожные фрезы классифицируют по следующим основным признакам:

1) *по назначению* – для текущего (ямочного) ремонта, для разрушения (срезания) покрытий и для рыхления грунта;

2) *по способу передвижения* – навесные и самоходные;

3) *по типу шасси* – гусеничные и пневмоколесные;

4) *по приводу фрезерного барабана* – с механическим и гидравлическим приводом;

5) *по наличию погрузочного конвейера* – с конвейером (в передней или задней части машины) или без него;

6) *по типоразмеру* (м) – малые с шириной фрезерования до 1,0, средние – до 2,0 и большие – до 4,0 и более;

7) *по форме резцов* – для создания шероховатости, для фрезерования асфальтобетонных и цементобетонных покрытий.

Самоходные фрезы представляют собой автоматизированные машины на пневмоколесном или гусеничном ходу с поперечным расположением фрезерного барабана. В *малых самоходных фрезах* фрезерный барабан и одинарный конвейер расположены в задней части машины, имеющей в основном колесное ходовое оборудование (три или четыре колеса). В зависимости от условий работы он может сбрасывать отфрезерованный материал в кузов самосвала, в валок (сбоку от продольной оси машины) или оставлять его на дорожном полотне. В *средних и больших фрезах* фрезер-

ный барабан располагают под машиной в ее средней части. Они имеют, как правило, гусеничное ходовое оборудование и фронтальный погрузочный конвейер (одинарный или составной).

Основным рабочим органом является *фрезерный барабан*, конструкция которого описана в разд. 7. Он также имеет вид полого цилиндра с укрепленными на его наружной поверхности резцедержателями. Для разрушения дорожных покрытий в держатели устанавливают круглые резцы из твердосплавных износостойких материалов.

В зависимости от типоразмера фрезы и назначения барабан может быть сплошным или разъемным, состоящим из четырех сегментов, скрепленных болтами. Конструкция барабана обеспечивает возможность ступенчатого изменения ширины фрезерования, а также оперативную замену неработоспособных сегментов. Дополнительные секции имеют фиксированную ширину, что позволяет увеличить общую ширину фрезерования на величину, кратную ширине одной секции. (Например, фреза ДС-197 «Брянского Арсенала» обеспечивает фрезерование полосы шириной 0,25; 0,5; 0,75 и 1,0 м.) Кожух барабана спереди и сзади снабжен гидрофицированными щитами, играющими роль дробильных щек. Размером частиц отфрезерованного материала можно управлять, изменяя расстояние от щитов до фрезы с помощью гидроцилиндров.

Конфигурация резца, состав сплава его наконечника и других элементов зависят от материала разрушаемого покрытия, типоразмера рабочего органа и условий эксплуатации.

Для оперативной замены режущих элементов дорожные фрезы, как правило, оснащают вспомогательным оборудованием, в их числе пневматический съемник режущих элементов и гидроустройство для проворачивания барабана.

Привод барабана может быть *механическим или гидравлическим*.

Механический привод барабана осуществляют от дизельного двигателя через клиноременную передачу и редуктор. Такой имеют в основном холодные фрезы среднего и большого типоразмера. В этом случае устанавливают три-четыре скорости вращения барабана. Приводной ремень нивелирует пиковые нагрузки и исключает повреждения элементов привода. На средних фрезах используют конические редукторы, на больших – планетарные, встроенные в барабан. Таким приводом, например, оснащены машины фирм «Wirtgen», «Terex CMI » и др. Имеются сведения, что потери мощности этого привода на 40 % меньше, чем гидростатического. Как правило, барабан имеет механический привод с передачей крутящего момента от двигателя через муфту сцепления, клиноременную передачу, коробку передач и планетарный редуктор. На рисунке 8.31 представлена кинематическая схема механического привода барабана фрезы.

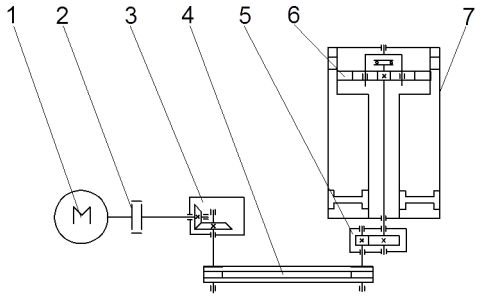


Рисунок 8.31 – Кинематическая схема привода барабана фрезы:
1 – двигатель; 2 – муфта;
3 – конический редуктор;
4 – ременная передача;
5 – цилиндрический редуктор;
6 – планетарный редуктор;
7 – фрезерный барабан

Гидравлический привод барабана включает гидронасос и гидродвигатель. В этом варианте частоту вращения барабана можно изменять бесступенчато, что имеет немало известных достоинств. Подобный привод имеют отдельные модели малых самоходных фрез на пневмоколесном ходу, в том числе машины модели ДС-197.

На рисунке 8.32 приведен общий вид дорожной фрезы на гусеничном ходу с фронтальным погрузочным конвейером. Фрезерный барабан (на рисунке не виден) срезает слой дорожной одежды заданной толщины, затем отфрезерованный материал с помощью транспортера 7 подают в транспортное средство с возможностью отклонения подачи материала от продольной оси машины на угол 36°, т.е. при движении самосвала по обочине дороги.

Ходовые системы фрез имеют гидравлический привод с автоматически регулируемой системой управления и нагрузки. В системах с пневмоколесными движителями каждое колесо имеет независимую подвеску. Благодаря этому фреза сохраняет заданный уклон независимо от профиля обрабатываемого полотна. Все ведущие колеса выполнены по схеме «мотор-колесо» со встроенным ступичным планетарным редуктором, что создает воэможность эффективного маневрирования в стесненных условиях. Гусеничная ходовая система также имеет гидростатический привод – индивидуальный для каждой гусеницы, которых может быть три или четыре в зависимости от типоразмера фрезы. Бесступенчатое изменение скорости обеспечено в широком интервале рабочих скоростей – от 0 до 50–60 м/мин.

Высокую маневренность обеспечивает рулевое управление. Оно имеет, как правило, четыре режима поворота: только передними или только задними движителями; скоординированный и боковой (так называемый «краб») – одновременно передними и задними движителями. Наличие различных режимов поворота расширяет технологические возможности машины, в том числе в стесненных условиях эксплуатации.

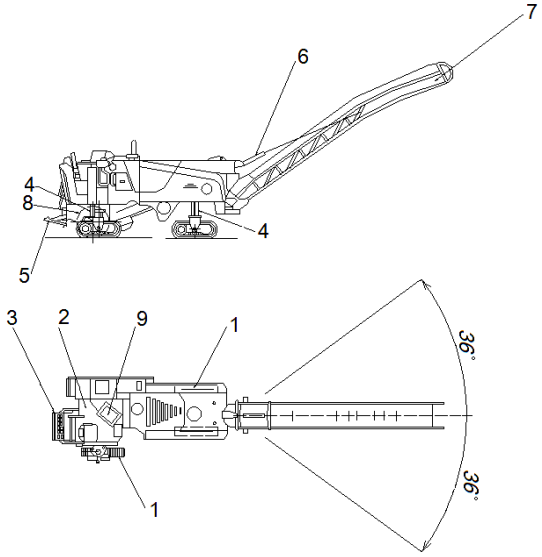


Рисунок 8.32 – Дорожная фреза:
1 – гусеничное ходовое оборудование; 2 – силовая установка; 3 – зачистной щит; 4 – стойка гусеничной тележки; 5 – сцепное устройство; 6 – гидроцилиндр управления положением транспортера; 7 – транспортер; 8 – рабочее оборудование; 9 – пульт управления

Ведущие производители из СНГ, США, Германии и других стран выпускают машины, оборудованные электронными системами контроля и управления и обладающие широкими возможностями по вскрытию цементобетонных и других покрытий. В зависимости от мощности силовой установки они способны срезать слои дорожной одежды толщиной до 10–30 см с рабочими скоростями в интервале 4–108 м/мин при ширине резания от 0,3 до 3,8 м. Для этого дорожные фрезы оснащают барабанами различной ширины. Например, фирма Wirtgen выпускает оборудование с режущими барабанами восьми типоразмеров по рабочей ширине – от 0,3 до 2,0 м при глубине резания до 30 см. В зависимости от типоразмера диаметр барабана составляет 930–1080 мм при линейном расстоянии между резцами 15 мм (при количестве резцов от 100 до 188 штук). При необходимости изменения ширины резания за счет взаимозаменяемости режущих барабанов их замена на машине может быть проведена всего за два–три часа. Оптимальный баланс мощности обеспечивает высокую производительность и экономичность при выполнении ремонтных работ.

В таблице 8.14 приведены технические характеристики некоторых самоходных дорожных фрез для вскрытия покрытий ряда известных фирм. Как видно из таблицы, машины на гусеничном ходу применяют для больших объемов ремонтных работ с шириной обрабатываемой полосы от 1,0 до 3,8 м, а на пневмоколесном – для малых объемов работ с шири-

ной от 0,3 до 1,0 м, соответственно, в конструкциях этих машин использованы неоднократно упоминавшиеся ранее достоинства гусеничного и колесного оборудования. Колесные фрезы имеют меньшую массу и высокую транспортабельность, что позволяет оперативно перемещать их с одного участка на другой. Гусеничные фрезы обладают большой устойчивостью, что обеспечивает высокую точность технологических операций при ремонте широких полос дорог, а также на крутых склонах.

Капитальный ремонт *с повторным использованием материала старого покрытия* является ресурсосберегающим мероприятием, которое выполняют по технологии *горячего рециклинга*. Его сущность состоит в том, что материал старого покрытия срезают, измельчают и смешивают с новыми компонентами (минеральным наполнителем и вяжущим), а затем из полученной смеси формируют новое покрытие.

Таблица 8.14 – **Технические характеристики машин (дорожных фрез) для вскрытия дорожных покрытий**

Модель	Ширина резания, м	Глубина резания, см	Движитель	Мощность, л.с.	Рабочая скорость, м/мин	Масса, т
«Брянский Арсенал» (Россия)						
ДС-197	1,0	8,0	К	154	10,0	15,2
«Caterpillar» (США)						
PM-465	0,2	30,5	Г	500	36,0	26,3
PM-565B	0,21	30,5	Г	625	39,6	38,6
«CMI Terex» (США)						
PR-100	0,36	30,5	К	100	108	8,6
PR-160	0,6	30,5	К	152	108	9,1
PR-205	0,76	30,5	К	200	108	9,7
PR-600	2,18	35,6	Г	600	47,4	38,1
PR-1200	3,81	38,1	Г	1200	79,2	72,8
«Dynapac» (Швеция)						
PL 350S	0,36	10,2	К	60	24,6	2,8
PL 2100S	2,11	32,0	Г	600	39,3	33,9
«Roadtec» (США)						
RX-10	0,31	15,2	К	108	28,5	7,2
RX-20B	1,0	25,4	К	230	79,2	14,7
RX-50B	2,41	30,5	Г	600	48	34
RX-70B	3,81	20,3	Г	800	36	50
«Wirtgen» (Германия)						
W 350	0,35	10,2	К	47	19,8	4,4
W 500	0,50	15,2	К	105	19,8	7,4
W 1000 R	1,02	25,4	К	199	28,8	17,6
W 1900	2,18	30,5	Г	430	34,8	24,9

W 2200	2,21	35,6	Г	860	82,5	46,2
2200/3,8	3,81	35,6	Г	860	54	50,2
Примечание – Г – гусеничный, К – колесный.						

В свою очередь, в зависимости от места производства различают два метода горячего рециклинга:

– на асфальтобетонном заводе (*recycling in plant*);

– непосредственно на дороге (*recycling in place)*.

Технологический процесс горячего рециклинга на заводе включает следующие операции:

– срезание старого покрытия холодной или горячей фрезой;

– сбор и погрузка сфрезерованного материала (гранулята) в автотранспортное средство;

– доставка автотранспортом гранулята на передвижной или стационарный асфальтобетонный завод;

– приготовление из старого гранулята и добавленнных минеральных материалов и битума новой АБ смеси;

– доставка автотранспортом полученной горячей смеси на ремонтируемый участок;

– укладка и уплотнение горячей смеси по месту ремонта.

Соответственно, для реализации этого вида рециклинга необходим комплект соответствующих машин и оборудования, состав которого зависит от объемов ремонтных работ.

Для небольших объемов работ можно использовать следующий комплект:

– терморемонтер, оборудованный дорожной фрезой и блоком разогревателей;

– погрузочно-разгрузочное оборудование;

– автотранспорт;

– асфальтоукладчик;

– комплект асфальтовых катков.

Для больших объемов целесообразно использовать следующие машины:

– дорожную (холодную) фрезу;

– автотранспорт;

– асфальтоукладчик;

– комплект асфальтовых катков.

Приведенный состав комплекта для малых работ содержит такую машину как *терморемонтер*, обеспечивающей разогрев и срезание старого покрытия. В качестве примера можно привести терморемонтер, конструктивная схема которого представлена на рисунке 8.33. Это самоходная однопроходная машина, которая содержит дизельный двигатель 3, барабанную фре-

зу 10 с гидроприводом 2, блок нагревательных элементов 7, а также механизм 5 перевода блока 7 из рабочего в транспортное положение.

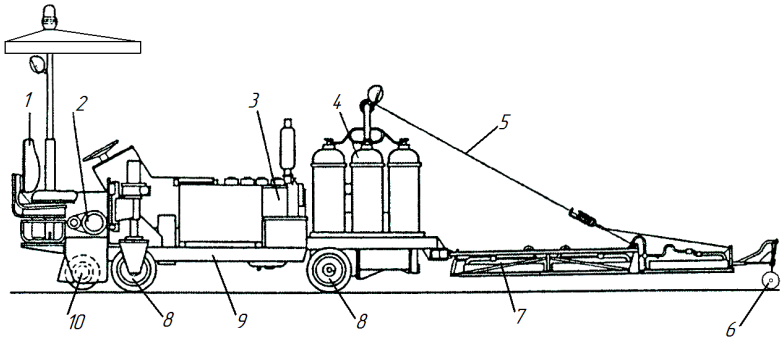


Рисунок 8.33 – Конструктивная схема терморемонтера:
1 – место оператора; 2 – привод фрезы; 3 – двигатель; 4 – резервуар для сжиженного газа; 5 – подъемное устройство; 6 – поддерживающее колесо; 7 – нагревательный блок; 8 – ходовое колесо; 9 – рама; 10 – фреза

Барабанная фреза представляет собой полый цилиндр, на поверхности которого в определенном порядке (как правило, по винтовой линии) укреплены легкосъемные держатели с резцами из твердосплавных материалов. Нагревательное устройство включает резервуар для газа 4, систему газопроводов, нагревательный блок из инфракрасных излучателей (горелок), регулирующую аппаратуру и др. Для обеспечения устойчивости нагревательных элементов предусмотрены две поддерживающие опоры 6 с гидроцилиндрами управления их положением.

Терморемонтер располагает следующими эксплуатационными возможностями: при мощности двигателя 37 кВт машина обеспечивает фрезерование полосы асфальтобетона шириной 1 м на глубину 45 мм со скоростью до 6 м/мин.

Основным достоинством технологии *горячего рециклинга на заводе* является повторное использование материала покрытия, что позволяет снизить стоимость ремонта и сохранить толщину покрытия.

К недостаткам следует отнести значительные транспортные расходы, возрастающие с увеличением расстояния от завода до объекта производства работ, а также энергозатраты на производство горячей смеси и разогрев минерального материала.

Технологический процесс горячего рециклинга на дороге производят при помощи комплекса машин, в состав которого входят следующие самоходные машины:

– разогреватель;

– ремиксер;

– комплект катков.

Этот процесс разделяют на следующие методы в зависимости от поставленной задачи:

1) *термопрофилирование (reform)* – разогрев и срезание старого покрытия, перемешивание полученного гранулята в машине, его укладка, разравнивание и уплотнение на дороге (используют для устранения неровностей покрытий);

2) *термогомогенизация (repave)* – разогрев и срезание старого покрытия, перемешивание полученного гранулята в машине, его укладка и разравнивание на дороге, укладка на него и уплотнение новой АБ смеси (используют для усиления покрытия и создания нового слоя износа);

3) *термосмешение* и укладка смеси с добавлением новых компонентов (remix) – разогрев старого покрытия, распределение горячего щебня и битума по поверхности старого покрытия, повторный разогрев и срезание покрытия с нанесенным слоем, перемешивание полученного гранулята в машине, его укладка и уплотнение на дороге (используют для усиления покрытия и восстановления слоя износа);

4) *термоукладка* с нанесением *нового слоя износа (remix plus)* – разогрев старого покрытия, укладка на него новой АБ смеси в качестве слоя износа и уплотнение (используют для восстановления покрытия с формированием нового слоя износа).

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

Ремиксер представляет собой самоходную однопроходную машину, оснащенную дизельным двигателем и пневмоколесным шасси, газовым оборудованием для нагрева покрытия, гидравлической системой управления рабочими органами и другими агрегатами, а также комплектом рабочего оборудования.

Ремиксеры разделяют по следующим основным признакам:

1) *по назначению* – для заделки трещин и открытых швов, для восстановления покрытий на малых и больших площадях;

2) *по типоразмеру* – малые, средние и большие;

3) *по виду подогрева* – инфракрасными излучателями или горячим (до 600° С) воздухом.

Для выполнения различных методов горячего рециклинга при капитальном ремонте машина имеет следующие рабочие органы:

– нагреватель для размягчения старых покрытий;

– приемный бункер для новой горячей АБ смеси с транспортерами ее подачи в смеситель;

– емкость для вяжущего (битума и др.) с системой распределения;

– фрезу для срезания старого покрытия с системой подачи старого гранулята в смеситель;

– смесительное оборудование для перемешивания старого гранулята и новых компонентов;

– распределительный шнек, обеспечивающий укладку и разравнивание смеси на дороге;

– уплотнительный орган, состоящий из вибробруса и выглаживающей плиты, который обеспечивает профилирование и предварительное уплотнение смеси на дороге;

– автоматизированную систему контроля технологического процесса и управления рабочими органами и агрегатами машины.

На рисунке 8.34 представлена конструктивная схема самоходного ремиксера. Восстановление покрытий по методу «remix» производят следующим образом. Свежую смесь из самосвала загружают в бункер 1, далее транспортерами 2 перемещают через дозировочное устройство 3 в смеситель 11.

Одновременно происходит разогрев при помощи нагревательных блоков 16,15 и 14 старого покрытия, которое разрыхляют рыхлителем 14, а полученный гранулят перемещают в смеситель 11. После перемешивания новый материал распределяют по подогретому (блоком 10) ремонтируемому основанию первым шнеком 13 и профилируют отвалом 12. Затем смесь обрабатывают вибробрусом и выглаживающей плитой 7 для предварительного уплотнения. После этого нанесенный слой окончательно уплотняют комплектом катков.

Оборудование для разогрева старого асфальтобетона включает емкости для горючего газа и систему газовых горелок инфракрасного излучения, установленных на специальном шасси или непосредственно перед рыхлителем ремиксера. Оно обеспечивает разогрев старого покрытия до температуры 140–180 ^{o}C на поверхности, а также обогрев узлов и агрегатов машины для предотвращения остывания смеси в машине. Горелки объединены в четыре блока, каждый из которых состоит из секций с независимой подачей газа. Оно оснащено устройствами для регулирования мощности излучения за счет изменения давления газа. Кроме того, высоту установки каждого блока можно регулировать в пределах от 50 до 250 мм над обогреваемой поверхностью.

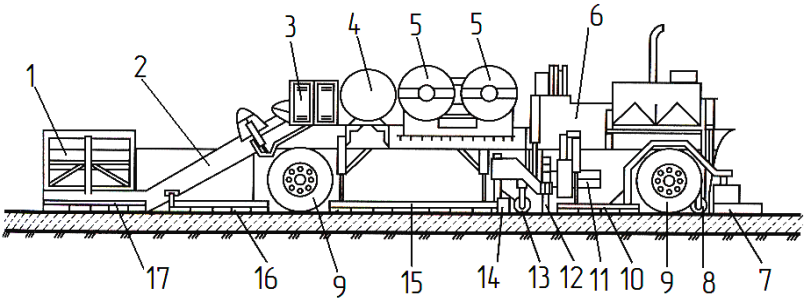


Рисунок 8.34 – Конструктивная схема ремиксера для выполнения горячего рециклинга:

1 – приемный бункер с транспортирующим устройством для новой смеси; 2 – система транспортеров; 3 – дозирующее устройство; 4 – емкость для битума; 5 – резервуар для сжиженного газа; 6 – двигатель; 7 – трамбующий брус и выглаживающая плита; 8 – торой распределительный шнек; 9 ходовое колесо; 10 – четвертый нагревательный блок; 11 – меситель; 12 – планирующий отвал; 13 – первый шнековый распределитель; 14 – рыхлитель; 15 – третий нагревательный блок; 16 – второй нагревательный блок; 17 – первый нагревательный блок

Для разрыхления и срезания разогретого покрытия ремиксер оборудован одним или несколькими (для бесступенчатой регулировки ширины фрезерования) фрезерными барабанами, на которых по винтовой линии установлены резцы, что позволяет одновременно с разрыхлением производить перемешивание смеси, добиваясь ее однородности. Вращение фрезерного барабана осуществляют гидроприводом, который также изменяет глубину фрезерования. Размеры частиц асфальтобетонного гранулята зависят от скорости вращения барабана и глубины фрезерования. Система управления рыхлителем позволяет обходить люки, колодцы и островки безопасности.

Дозированную подачу битума в зону рыхления и перемешивания производят из обогреваемой емкости при помощи системы форсунок.

За рыхлительным барабаном расположен планирующий отвал, который может выполнять несколько функций. При использовании методов «reshape» и «repave» он служит для профилирования разрыхленного материала, а при использовании метода «remix» играет роль щита шнека, собирающего остатки материала в смеситель принудительного действия.

Принудительное перемешивание материала старого покрытия, нового материала и вяжущего осуществляют в двухвальном смесителе, имеющем вращающиеся в противоположные стороны валы, лопасти которых могут изменять свое положение относительно друг друга для оптимизации процесса перемешивания. При необходимости дополнительного добавления битума в смесь используют систему форсунок, которой оборудован смеситель. Смеситель обогревают инфракрасными излучателями.

Новую АБ смесь загружают в приемный бункер, откуда наклонным транс-

портером-питателем подают в бункер дозатора, оборудованный шибером для дозирования, а затем горизонтальным транспортером – в смеситель. Скорость подачи смеси транспортерами зависит от скорости движения ремиксера.

Укладываемая смесь (в виде валика) выходит из смесителя и равномерно распределяется основным шнеком по поверхности переработанного и разровненного покрытия. Как правило, его дополнительно прогревают инфракрасными излучателями для обеспечения максимального сцепления слоев, достигаемого только при укладке горячего материала на горячее основание.

Точность укладки обеспечивает укладочный брус вибрационного действия, конструкция которого позволяет формировать заданный поперечный профиль укладываемого слоя, а также регулировать ширину укладки, согласуя ее с шириной рыхлительного барабана. Наличие системы подогрева и вибробруса позволяет достичь высокого качества укладки и степени предварительного уплотнения. Управлять положением укладочного бруса можно как вручную, так и автоматически.

Система контроля и управления обеспечивает согласование операций технологического процесса горячего рециклинга (частоту вращения фрезерного барабана, дозировку битума и свежей асфальтобетонной смеси) со скоростью движения ремиксера, управление укладочным брусом, а также функции контроля работы и диагностики систем и агрегатов машины.

При использовании методов «repave» с перемешиванием и «remix plus» перед укладочным вибробрусом устанавливают дополнительный брус, который разравнивает разрыхленный материал или его смесь с новой асфальтобетонной смесью, подаваемой системой транспортеров из приемного бункера и распределяемой по ширине полосы вторым распределительным шнеком, после чего укладочным брусом оба слоя формируются и предварительно уплотняются.

На рисунке 8.35 приведена типичная кинематическая схема ремиксера. Как видно из схемы, машина полностью гидрофицирована, что обеспечивает бесступенчатое изменение скорости перемещения машины и транспортеров, частоты вращения фрезерного рыхлителя и смесителя, а также частоты вибрации трамбующего бруса и выглаживающей виброплиты.

Окончательное уплотнение осуществляется по традиционной технологии гладковальцевыми виброкатками и пневмоколесными катками статического действия.

Ведущие производители машин для горячего восстановления АБ покрытий выпускают ремиксеры различных типоразмеров, предназначенные для выполнения дорожных работ различного масштаба. В таблицах 8.15 и 8.16 приведены основные характеристики ремиксеров, которые производят фирмы «Wirtgen» (Германия) и «Kalottikone» (Финляндия). Эти машины полностью гидрофицированы и имеют системы компьютерного контроля и управления рабочими органами и агрегатами, в том числе с использованием спутниковой космической навигации.

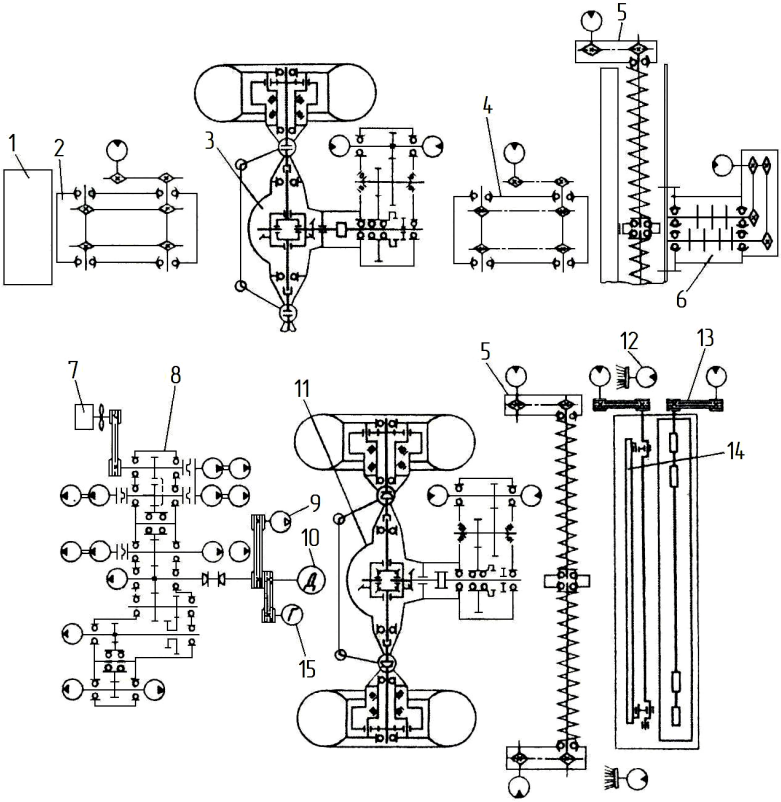


Рисунок 8.35 – Кинематическая схема ремиксера;
1 – приемный бункер; 2 – наклонный транспортер – питатель; 3 – передний мост;
4 – горизонтальный транспортер; 5 – рыхлитель; 6 – смеситель; 7 – калорифер;
8 – редуктор привода гидронасосов; 9 – компрессор; 10 – двигатель; 11 – задний мост;
12 – привод щеток; 13 – виброплита; 14 – трамбующий брус; 15 – генератор

Как видно из таблицы 8.15, фирма «Wirtgen» выпускает ремиксеры трех размеров. Ремиксер 300/600 является вспомогательной машиной и предназначен для заделки крупных трещин и открытых швов между уложенными полосами АБ покрытий. Он имеет две фиксированные ширины рабочей зоны – 0,3 и 0,6 м. Ремиксер 2500 является основной машиной комплекса для восстановления покрытий на средних по масштабу работ площадях и располагает возможностью плавного изменения ширины в диапазоне от 1,5 до 2,5 м. И наконец, самая производительная машина этого типоразмерного ряда – ремиксер 4500 – предназначена для восстановления дорожных покрытий на больших участках и площадях. Ширину обрабатываемой полосы

также можно плавно регулировать при помощи гидравлического привода в пределах от 3,0 до 4,5 м.

Ремиксер модели KM 3000 RS имеет расширенные технологические возможности за счет большой глубины рыхления (до 280 мм), что позволяет осуществлять капитальный ремонт покрытий с применением технологии холодного рециклинга, выполняя фрезерование не только покрытия, но и основания.

Как правило, в комплексы машин для горячего рециклинга входят энергесберегающие разогреватели. Разогрев ремонтируемого асфальтобетонного покрытия «Wirtgen» производит разогреватель модели HM 4500, а «Kalottikone» – разогреватель модели Ecoheater.

Таблица 8.15 – **Технические характеристики ремиксеров**

Параметр	Wirtgen (модель)		
	300/600	2500	4500
Мощность двигателя, кВт	37	118	182
Ширина фрезерования, м	0,3/0,6	1,5–2,5	3,0–4,5
Максимальная глубина фрезерования, мм	40	60	60
Тепловая мощность разогревателей, Мкал/ч	263	–	1900
Масса, т	3,8/4,6	16,1	48,0

Например, разогреватель HM 4500 (рабочая масса 20 т) является самоходной пневмоколесной машиной, содержащей цистерну со сжиженным газом (объемом 6000 л), газопроводы, блоки газовых горелок инфракрасного излучения (тепловой мощностью до 2,7 МВт) с системой управления интенсивностью излучения и положением горелок. Он обеспечивает разогрев покрытия шириной до 4,7 м и площадью до 40 м^2.

Таблица 8.16 – **Технические характеристики ремиксеров**

Параметр	Road Mix (модель)	
	KM 2000 RS	KM 3000 RS
Мощность двигателя, кВт	600	800
Ширина фрезерования, м	2,9–4,6	2,9–4,5
Максимальная глубина фрезерования, мм	80	280
Объем емкости для вяжущего, м^3	14,0	14,8
Производительность смесителя, т/ч	150	400
Рабочая скорость, м/мин	0–10	0–16
Транспортная скорость, км/ч	5	5
Производительность, м^2/ч	600–1200	
Рабочая масса, т	7,0	8,3

Помимо разогрева покрытий при помощи инфракрасного излучения, применяют обогрев горячим воздухом. Новую технологию разогрева покрытия в процессе горячего рециклинга разработала фирма «Martech» (Канада), которая выпускает комплект машин модели AR 2000. Ширину обрабатываемой полосы можно изменять в диапазоне 3,3–4,0 м при глубине разогрева до 50 мм и скорости движения комплекта 5–7 м/мин. Разогрев покрытия производят нагретым до 600 ^{0}С сжатым воздухом.

Подогрев воздуха для проведения операции разогрева покрытия производят сжиганием газа или дизельного топлива. Разогревающее устройство в виде герметического кожуха плотно прижимают к поверхности покрытия. В пространство между покрытием и разогревателем с одной стороны нагнетают компрессором горячий воздух, а с другой стороны откачивают вакуумным насосом. Для повышения эффекта прогревания слоя асфальтобетона в покрытии просверливают отверстия. Откачанный горячий воздух снова поступает в компрессор, т. е. циркулирует по замкнутому контуру. Как считают разработчики, эта технология разогрева способствует многократному снижению потерь тепловой энергии по сравнению с применением горелок инфракрасного излучения, полностью исключает выгорание битума и пережог смеси, а также выделение выбросов газа, дыма и пыли в атмосферу.

Для того чтобы оценить роль и эффективность предварительного разогрева асфальтобетона перед фрезерованием, достаточно сопоставить сопротивления его рыхлению в холодном и разогретом состоянии. Итак, коэффициент удельного сопротивления фрезерованию $k_р$ составляет:

– для холодного асфальтобетона – 4–10 МПа;

– разогретого – 0,05–0,06 МПа.

При проектировании ремиксеров основными расчетами являются тяговый и энергетический. К основным характеристикам ремиксеров следует отнести мощность силовой установки и массу машины, ширину и толщину срезаемого и наращиваемого слоя покрытия, вместимости емкости для вяжущего и бункера для смеси, рабочие и транспортные скорости. Расчеты включают определение параметров машины и отдельных рабочих органов, выполнение тягового расчета в рабочем и транспортном режимах, баланс мощности, расчеты гидравлической системы и подбор гидрооборудования для управления рабочими органами и механизмами машины.

Тяговый расчет проводят на основе анализа уравнения тягового баланса. Для ремиксера, оснащенного комплектом рабочих органов для восстановления АБ покрытий, общая сила сопротивления при его работе включает следующие сопротивления:

– перемещению машины $W_{пер}$;

– резерованию разогретого асфальтобетона $W_ф$;

– планированию смеси отвалом $W_{пл}$;

– трению рабочих органов по укладываемой смеси $W_{тр}$;

– перемещению призмы волочения перед рабочими органами $W_{пр}$.

Перечисленные силы можно найти из следующих выражений:

1) *сопротивление перемещению* ремиксера (Н)

$$W_{пер} = (f_1 + i)(G_р + G_{см}), \tag{8.65}$$

где $G_р$ – сила тяжести ремиксера, Н;

$G_{см}$ – сила тяжести смеси в бункере машины,

f_1– коэффициент сопротивления перемещению машины, f_1 = 0,06…0,12;

i – уклон пути, i = 0,03…0,07;

2) *сопротивление разогретого асфальтобетона фрезерованию* (Н)

$$W_ф = k_р b_ф h_ф, \tag{8.66}$$

где $k_р$ – коэффициент удельного сопротивления фрезерованию разогретого асфальтобетона, $k_р$ = 0,05…0,06 МПа;

$b_ф$ – ширина фрезерования, м;

$h_ф$ – глубина фрезерования, м;

3) *сопротивление планированию отвалом* (Н)

$$W_{пл} = k_л B_{от}, \tag{8.67}$$

где $k_л$ – удельное линейное сопротивление, Н/м, $k_л$ = 10…20 кН/м;

$B_{от}$ – длина отвала, м;

4) *сопротивление сил трения* рабочих органов по смеси (Н)

$$W_{тр} = \mu_1 (G_{от} + G_{бр} + G_{пл}), \tag{8.68}$$

где μ_1 – коэффициент трения скольжения рабочих органов по смеси, μ_1 = 0,5…0,6;

$G_{от}$, $G_{бр}$, $G_{пл}$ – силы тяжести отвала, бруса и плиты, Н;

5) *сопротивление перемещению призмы волочения* перед рабочими органами (Н)

$$W_{пр} = \mu_2 (G_{пр}^{от} + G_{пр}^{бр} + G_{пр}^{пл}), \tag{8.69}$$

где μ_2 – коэффициент внутреннего трения смеси, μ_2 = 0,7…0,9;

$G_{пр}^{от}, G_{пр}^{бр}, G_{пр}^{пл}$ – силы тяжести смеси в призмах волочения перед брусом и плитой.

Силовая установка должна развивать силу тяги T, достаточную для преодоления всех сил сопротивления, возникающих при работе машины,

$$T \geq W\ , \qquad (8.70)$$

где $W = W_{пер} + W_{ф} + W_{пл} + W_{тр} + W_{пр}$.

Зная мощность двигателя, можно определить силу тяги из выражения

$$T = \eta_{тр} u_{тр} N_{дв} / (n_{кол} \omega_{д} r_{кол}), \qquad (8.71)$$

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

$u_{тр}$ – передаточное число трансмиссии;

$N_{дв}$ – мощность двигателя, Вт;

$n_{кол}$ – число ведущих колес;

$\omega_{д}$ – угловая скорость вращения вала двигателя, $с^{-1}$;

$r_{кол}$ – радиус ходового колеса, м.

Баланс мощности ремиксера. При проверке или оценке мощности силовой установки машины следует определить энергопотребление всех агрегатов и рабочих органов ремиксера в рабочем режиме. В общем случае мощность силовой установки расходуется на привод следующих механизмов:

– *механизма передвижения в рабочем режиме*;
– *смесителя;*
– *ленточных транспортеров-питателей;*
– *фрезерного барабана;*
– *распределительного шнека;*
– *трамбующего бруса;*
– *выглаживающей плиты;*
– *вспомогательных механизмов.*

Для определения энергопотребления отдельных механизмов, т.е. их мощности (кВт) используют следующие выражения:

1) *для механизма перемещения* ремиксера

$$N_{пер} = W \upsilon_{р} / (1000 \eta_{т})\ , \qquad (8.72)$$

где $\upsilon_{р}$ – скорость рабочего хода, м/с;

$\eta_{т}$ – КПД трансмиссии ремиксера;

2) *для привода смесителя*

$$N_{см} = к_{д} g Q_{см}\ , \qquad (8.73)$$

где $к_{д}$ – коэффициент динамичности при пуске смесителя под нагрузкой, $к_{д} = 2{,}0 \ldots 2{,}5$;

$Q_{см}$ – вместимость смесителя, т,

$$Q_{см} = П_{см} t_{см} / 60\ , \qquad (8.74)$$

$П_{см}$ – производительность смесителя, т/ч,

$$П_{см}=1,6\ П_{фр}, \qquad (8.75)$$

$П_{фр}$– производительность ремиксера по фрезерованию, т/ч;

$t_{см}$ – время нахождения смеси в смесителе, мин;

3) *для привода ленточных транспортеров-питателей* (наклонного и горизонтального)

$$N_{лк} = П_{лк} g \left[к_{ск} (L_{ну} + L_{гу}) + H_{лк} \right] / (3600 \eta_{пк}), \qquad (8.76)$$

где $П_{лк}$ – производительность конвейера по укладке, т/ч;

$к_{ск}$ – коэффициент сопротивления конвейера, $к_{ск}$ = 2…3;

$L_{ну}$, $L_{гу}$, $Н_{лк}$ – длина наклонного и горизонтального участков, а также высота конвейера, м;

$\eta_{пк}$ – КПД привода конвейера;

4) *для привода фрезы*

$$N_{фр} = W_{фр} \omega_{фр} R_{фр} / (1000 \eta_{пф}), \qquad (8.77)$$

где $\omega_{фр}$ – угловая скорость вращения фрезерного барабана, $\omega_{фр} \le 0{,}15$ рад/с ;

$R_{фр}$ – радиус фрезы по режущим зубьям, м;

$\eta_{пф}$ – КПД привода фрезы.

При необходимости можно проверить мощность привода фрезы по формуле

$$N_{фр} = N_{фр}^{уд} b_{фр} h_{фр} \upsilon_{фр}, \qquad (8.78)$$

где $N_{фр}^{уд}$ – удельная мощность на фрезерование разогретого асфальтобетона,

$N_{фр}^{уд}$ =3600…4700 кВт ч/м^3,

$\upsilon_{фр}$ – линейная скорость зуба фрезы, м/с;

5) *для привода распределительного шнека*

$$N_{ш} = к_{см} к_{ш} g z_{ш} L_{ш} П_{ш} / (3600 \eta_{ш}), \qquad (8.79)$$

где $к_{см}$ – коэффициент, учитывающий напор смеси при движении ремиксера, $к_{см}$ = 3;

$к_{ш}$ – коэффициент сопротивления при работе шнека, $к_{ш}$ = 4…5;

$z_{ш}$ – число шнеков;

$L_{ш}$ – путь перемещения смеси вдоль шнеков по ширине (для двух шнеков $L_{ш} = B$);

$\eta_{ш}$ – КПД привода шнека, ; $\eta_{ш} = 0{,}9$;

6) *для* привода трамбующего бруса

$$N_{бр} = N_{бр}^{уд} b_{бр}, \qquad (8.80)$$

где $N_{бр}^{уд}$ – удельная мощность на привод трамбующего бруса, $N_{бр}^{уд}$ =0,4…0,6 кВт/м;

$b_{бр}$ – длина трамбующего бруса, равная ширине укладки слоя, м;

7) *для привода вибрационной плиты*

$$N_{пл} = z_{вв} N_{вв}, \qquad (8.81)$$

где $z_{вв}$ – число вибровозбудителей на плите;

$N_{вв}$ – мощность привода одного вибровозбудителя с дебалансом, равным 1,5–2,0 мм, $N_{вв}$ = 1,0…1,5 кВт;

8) *для привода вспомогательных механизмов*

$$N_{всп}=1{,}5\ldots2{,}0 \text{ кВт}. \qquad (8.82)$$

Таким образом, общая мощность, затрачиваемая на рабочий процесс,

$$N = N_{пер} + N_{см} + N_{лк} + N_{фр} + n_{ш} N_{ш} + n_{бр} N_{бр} + n_{пл} N_{пл} + N_{вс}, \qquad (8.83)$$

где $n_{ш}$, $n_{бр}$, $n_{пл}$ – число шнеков, брусьев и плит соответственно.

При проектировании разогревателей асфальтобетона следует произвести ряд расчетов, в том числе определение основных размеров разогревателя, тепловой расчет оборудования, тяговый расчет самоходной машины, а также баланс мощности.

Тепловой расчет асфальторазогревателей включает определение характеристик системы разогрева для установления необходимого расхода топлива или электрической энергии, в том числе времени нагрева до заданной температуры, плотности теплового потока и скорости перемещения разогревателя.

К исходным данным относятся требуемая производительность машины, толщина разогреваемого слоя, температуры начала и окончания разогрева покрытия и др.

Основные размеры разогревателя устанавливают конструктивно, чтобы ширина блока нагревателей не превышала поперечный габарит базового шасси.

В качестве нагревателей, как правило, используют газовые горелки инфракрасного излучения, которые имеют большой коэффициент выхода лучистой энергии (50–60 % всего затраченного тепла). На рисунке 8.35 представлена принципиальная схема газовой горелки инфракрасного излучения.

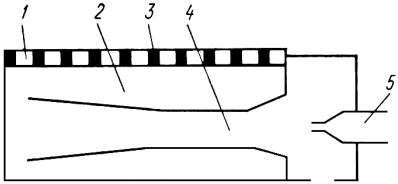


Рисунок 8.35 –Принципиальная схема газовой горелки:
1 – канал; 2 – распределительная коробка; 3 – керамический насадок; 4 – инжектор-смеситель; 5 – форсунка

Горящий газ выходит из форсунки 5 и попадает в инжектор 4, в котором смешивается с воздухом. Далее газовоздушная горящая смесь из инжектора поступает в распределительную коробку 2 и выходит через каналы 1, передавая тепло керамическому насадку 3. Он нагревается до температуры 850–900 ^{o}С и становится источником инфракрасных лучей.

Расход газа определяют по предельной тепловой нагрузке (кДж/м^3) из выражения

$$Q_z = z_г Q_1 , \qquad (8.84)$$

где $z_г$ – число горелок;

Q_1 – предельная тепловая нагрузка одной горелки, кДж/м^3.

Число газовых баллонов определяют, исходя из числа одновременно работающих горелок и времени их непрерывной работы.

Время непрерывной работы (ч) горелок

$$\tau = V_z / q_г , \qquad (8.85)$$

где V_z – вместимость всех используемых баллонов, м^3;

$q_г$ – удельный расход газа при работе горелок, м^3 /ч.

Вместимость баллонов (м^3) зависит от их числа:

$$V_z = z_б V_г , \qquad (8.86)$$

где $z_б$ – число использованных баллонов;

$V_г$ – вместимость одного баллона по газу, м^3.

Вместимость баллона по газу $V_г$

$$V_г = q_1 / \rho_г , \qquad (8.87)$$

где q_1 – количество газа в одном баллоне, кг;

$\rho_г$ – плотность паров газа, $\rho_г$ = 2,2 кг/м^3.

Запас сжиженного газа в баллоне (кг)

$$q_1 = V_б / \rho_{сжг} , \qquad (8.88)$$

где $V_б$ – вместимость баллона по сжиженному газу (для 50-литрового баллона принимают $V_б$ = 45 л);

$\rho_{сжг}$ – плотность сжиженного газа, $\rho_{сжг}$ =0,5 кг/л.

Таким образом, подставив в формулу (8.85) выражения (8.86) – (8.88), получим время непрерывной работы горелок

$$\tau = \rho_г z_б V_б / q_г \rho_{сжг} . \qquad (8.89)$$

Расход тепла на нагрев АБ покрытия определяют из следующих соображений. *Необходимую мощность излучения*, т.е. *плотность теплового потока на поверхности покрытия* (Вт/м^2) определяют из условия постоянства теплового потока:

$$q = 0{,}58(T_п - T_0)\sqrt{\frac{\pi\lambda\ c\rho}{\tau_н}} \qquad (8.90)$$

где $T_п$ – температура на поверхности покрытия, ^{o}С;

T_0 – начальная температура асфальтобетона (принимают постоянной по глубине), ^{o}С;

λ – коэффициент теплопроводности асфальтобетона, $\lambda = 1{,}0...1{,}4$ Вт/м · град;

c – удельная теплоемкость, $c = 0{,}22$ Дж/кг · град ;

ρ – плотность асфальтобетона, кг/м^3;

$\tau_н$ – время нагрева до заданной температуры, ч.

Время нагрева асфальтобетона на глубину h до заданной температуры T

$$\tau_н = F_{0h} h^2 / a , \qquad (8.91)$$

где F_{0h} – критерий гомохронности Фурье, F_{0h} = 0,27…17,20 при изменении безразмерной температуры θ от 0,1 до 0,8, $\theta = \dfrac{T - T_0}{T_п - T_0}$;

a – коэффициент температуропроводности, м^2/ч,

$$a = \begin{cases} 2{,}1 \cdot 10^{-3} \text{ – для мелкозернистого АБ,} \\ 2{,}64 \cdot 10^{-3} \text{ – для крупнозернистого АБ.} \end{cases}$$

Высоту установки горелок над покрытием (м) определяют через плотность теплового потока из формулы

$$H_у = \sqrt{\frac{320}{q}} . \qquad (8.92)$$

Режим работы разогревателя зависит от его скорости и длины блока разогревателя

$$\upsilon_р = l_р / \tau_н , \qquad (8.93)$$

где $l_р$ – длина блока горелок разогревателя.

Подставив в формулу (8.93) выражение (8.91), получим соотношение

$$\upsilon_р = l_р a / F_{0h} h^2 . \qquad (8.94)$$

Тяговый расчет самоходных разогревателей состоит в определении сил сопротивления, возникающих при передвижении машины в рабочем режиме. В зависимости от набора рабочих органов имеются два варианта расчетов: во-первых, разогревателя, оснащенного только блоком инфракрасных излучателей; во-вторых, разогревателя, снабженного блоком излучателей и фрезерным барабаном.

Если разогреватель имеет только блок излучателей, при перемещении в рабочем режиме следует учитывать только сопротивление его перемещению.

Если же в комплект рабочего оборудования входят и излучатели, и фреза, тогда суммарное сопротивление его передвижению в рабочем режиме включает две составляющие:

– сопротивление перемещению машины $W_{пер}$;

– сопротивление резанию разогретого асфальтобетона $W_ф$.

Сопротивление перемещению разогревателя (Н)

$$W_{пер} = (f_1 + i) G_р , \qquad (8.95)$$

где f_1 – коэффициент сопротивления перемещению машины, f_1 = 0,06…0,12;
i – уклон пути, i = 0,03…0,07;
$G_р$ – сила тяжести разогревателя, Н.

Сопротивление фрезерованию разогретого асфальтобетона (Н)

$$W_ф = k_р b_ф h_ф , \qquad (8.96)$$

где $k_р$ – коэффициент удельного сопротивления фрезерованию разогретого асфальтобетона, $k_р$ = 0,05…0,06 МПа;
$b_ф$ – ширина фрезерования, м
$h_ф$ – глубина фрезерования, м.

Таким образом, общая сила сопротивления

$$W_{раз} = W_{пер} + W_ф . \qquad (8.97)$$

Двигатель разогревателя должен развивать силу тяги T, которая преодолевает силы сопротивления, возникающие при работе машины:

$$T \geq W\ . \qquad (8.98)$$

Силу тяги (Н) можно определить по формуле

$$T = \eta_{тр} u_{тр} N_{дв} / (n_{кол} \omega_{д} r_{кол}), \qquad (8.99)$$

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

$u_{тр}$ – передаточное число трансмиссии;

$N_{дв}$ – мощность двигателя, Вт;

$n_{кол}$ – число ведущих колес;

$\omega_{д}$ – угловая скорость вращения вала двигателя, $с^{-1}$;

$r_{кол}$ – радиус ходового колеса, м.

Кроме того, следует проверить силу тяги по сцеплению, считая, что коэффициент сцепления для пневмоколесного движителя по асфальтобетону $\varphi_{сц} = 0{,}5...0{,}6$.

Баланс мощности разогревателя, как и любой другой машины, состоит в определении мощности силовой установки машины (или проверке мощности уже выбранного двигателя), необходимой для привода хода машины и привода ее рабочего оборудования, которая соответствует энергозатратам на преодоление указанных сопротивлений.

Мощность (кВт), *необходимая для привода хода* разогревателя,

$$N_{пер} = W \upsilon_{р} / (1000 \eta_{т}), \qquad (8.100)$$

где $\upsilon_{р}$ – скорость рабочего хода, м/с;

$\eta_{т}$ – КПД трансмиссии машины.

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

$$N_{фр} = W_{фр} \omega_{фр} R_{фр} / (1000 \eta_{пф}), \qquad (8.101)$$

где $\omega_{фр}$ – угловая скорость вращения барабана, $\omega_{фр} \leq 0{,}15$ рад/с ;

$R_{фр}$ – радиус фрезы по режущим зубьям, м;

$\eta_{пф}$ – КПД привода фрезы.

Соответственно, мощность силовой установки должна быть больше суммы указанных мощностей:

$$N_{су} \geq N_{пер} + N_{фр}\ . \qquad (8.102)$$

При необходимости оценки сопротивлений, возникающих *в транспортном положении*, следует учитывать сопротивление передвижению машины

$W_{пер}$ и сопротивление от сил инерции поступательно и вращательно движущихся масс при трогании машины с места W_i.

Силу сопротивления инерционных сил (Н) определяют по формуле

$$W_i = G_р \upsilon_{тр} / (g t_{раз}) + 1{,}15 \pi M_1 D_и^2 n / (120 t_{раз} r_{дв}) , \qquad (8.103)$$

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

$t_{раз}$ – время разгона до транспортной скорости, с;

M_1 – масса вращающихся элементов, установленных на валу двигателя (муфта, маховик, ротор и др.), кг;

D_1 – диаметр инерции элементов, установленных на валу двигателя, м;

n – частота вращения вала двигателя, об/мин;

$r_{дв}$ – радиус вала двигателя, м.

По общей силе сопротивления в транспортном режиме можно проверить мощность подобранного двигателя разогревателя.

8.5 Машины и оборудование для ремонта цементобетонных покрытий

Ремонт автомобильных дорог и аэродромов, дорожная одежда которых имеет ЦБ покрытия, как правило, обусловлен поверхностным или полным разрушением покрытий. Основные методы ремонта ЦБ покрытий целесообразно разделить на следующие группы:

1) восстановление шероховатости;
2) текущий ремонт;
3) капитальный ремонт.

Для восстановления шероховатости ЦБ покрытий используют следующие технологии:

– механическую обработку покрытий с помощью специального оборудования, например, фрезами, алмазными дисковыми пилами, стальными щетками, формируя волно- или пилообразные мелкие неровности небольшой глубины (до 10 мм);

– дробеструйную обработку стальными шариками для создания заданной степени шероховатости;

– пневматическое воздействие потоком горячего (1000 ^oC) сжатого воздуха со скоростью до 300 м/с;

– гидравлическую обработку струей воды под давлением 80–90 МПа.

Текущий ремонт ЦБ покрытий включает заделку поврежденных швов, устранение небольших дефектов (шелушения, трещин, выбоин, раковин и др.), устранение просадок плит и др.

Капитальный ремонт предусматривает разрушение и вырубку поврежденных участков. Для этих целей используют следующие машины и оборудование:

– ручной механизированный инструмент ударного действия;

– автобетоноломы и бетоноломы на специализированном шасси;

– машины для дробления цементобетона непосредственно на дороге;

– машины для вскрытия (резания) покрытий.

При малых объемах ремонтных работ используют ручной инструмент – пневматические и гидравлические отбойные молотки или ломы. В этом инструменте энергия сжатого воздуха или рабочей жидкости преобразуется в энергию удара.

Пневматический инструмент ударного действия включает отбойные молотки. Их КПД составляет всего 0,08–0,12. Принцип их работы основан на использовании энергии удара бойка (поршня-ударника), который совершает возвратно-поступательные движения вдоль канала ствола под действием сжатого воздуха, поступающего поочередно по одну и другую сторону ударника. В конце рабочего хода ударник наносит удар по хвостовику наконечника, который разрушает цементобетон. Сжатый воздух для работы пневмоинструмента вырабатывают компрессорные станции, которые могут быть переносными, прицепными или самоходными.

Наиболее важным агрегатом пневмоинструмента является механизм воздухораспределения, который обеспечивает изменение направления поступления сжатого воздуха. На рисунке 8.36 приведены схемы работы основных систем воздухораспределения. Как правило, используют три системы:

– беззолотниковую, которая является саморегулирующейся;

– клапанную, содержащую плоский или шариковый клапан;

– золотниковую.

В беззолотниковой системе (рисунок 8.36, *а*) сжатый воздух по каналу 3 поступает в кольцевое пространство между стенками цилиндра и проточкой в ударнике, затем по каналу 1 попадает в полость под ударником и перемещает его вниз. При этом воздух из-под ударника вытесняется в атмосферу по каналу 4. В нижнем положении ударник производит удар по наконечнику рабочего инструмента, открывая при этом канал 5, в результате чего воздух поступает под нижний торец бойка и начинает перемещать его вверх. При этом воздух, который находится над ударником, выходит в атмосферу по каналу 2. Цикл повторяется, когда ударник открывает канал 1 и сжатый воздух опять поступает в полость над ударником.

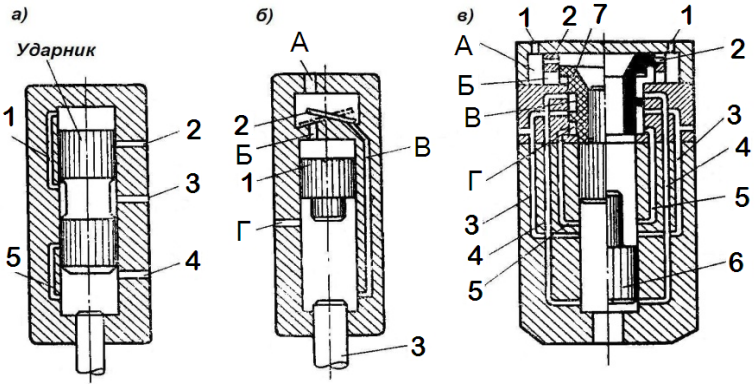


Рисунок 8.36 – Схемы систем воздухораспределителей пневмомолотков:
а – беззолотниковой; *б* – клапанной; *в* – золотниковой

Клапанная система воздухораспределения (рисунок 8.36, *б*) с плоским перекидным клапаном работает следующим образом. Сжатый воздух через канал А попадает в пространство с клапаном 2, затем в зависимости от его положения поступает по каналу Б в полость над ударником 1 и перемещает его вниз. При этом воздух из-под ударника выходит в атмосферу по каналу Г. Перекрывая при движении вниз этот канал, ударник обеспечивает в нижней части полости сжатие воздуха, который будет оказывать давление на клапан 2 снизу через канал В. Перед ударом бойка по наконечнику 3 открывается канал Г и воздух из верхней полости (над бойком) будет по этому каналу уходить в атмосферу. В результате давление сверху на клапан 2 падает и за счет давления снизу клапан занимает положение, указанное пунктиром. При этом сжатый воздух поступает по каналу В под ударник и направляет его вверх. Когда ударник проходит канал Г, открывается доступ сжатого воздуха из-под ударника в атмосферу и в результате давления воздуха в полости над ударником клапан 2 опять занимает исходное положение, т.е. цикл повторяется снова.

В золотниковой системе (рисунок 8.36, *в*) с трубчатым золотником на начальной стадии боек 6 и золотник 7 находятся в нижнем положении (под действием силы тяжести). Сжатый воздух создает давление на золотник снизу (поступая по каналу 1 в кольцевые выточки А и Б золотниковой коробки) и сверху (проходя по каналу 2). Поскольку полость над бойком через канал 3 соединена с атмосферой, давление на золотник сверху будет меньше и он займет крайнее верхнее положение. После этого сжатый воздух поступит по выточкам А и Б и по каналу 4 под боек, который начнет перемещаться в исходное (верхнее) положение. При движении вверх боек перекрывает каналы 3 и 5, в результате чего в верхней полости возникнет давление сверху на золотник, обеспечивая ему равновесное состояние. При дальнейшем движении вверх боек перекрывает канал 3, в результате чего сжатый воздух уходит в атмосферу по каналам 3 и 4, давление на золотник снизу падает и он занимает нижнее положение.

После этого сжатый воздух поступает по каналу 2 и посылает боек вниз. При движении бойка вниз воздух из-под него отводится по каналу 3. При дальнейшем движении боек открывает канал 5, в который поступает сжатый воздух и создает давление на золотник снизу. Равновесное состояние золотника за счет давления сверху и снизу сохраняется, пока боек в крайнем нижнем положении (т.е. при ударе) не открывает канал 3. После этого воздух из верхней полости выйдет в атмосферу, давление на золотник сверху станет меньше, чем снизу, и он займет верхнее положение, т.е. цикл завершен. Эта система считается наиболее экономичной.

В качестве примера конструкции инструмента ударного действия рассмотрен пневматический лом, конструктивная схема которого представлена на рисунке 8.37. Он состоит из ствола 1 и размещенного в нем ударника 2. На верхнем торце ствола при помощи стакана 3 закреплено воздухораспределительное устройство 4 (золотниковая коробка с золотником). На стакан надета рукоятка 6 с амортизационной пружиной 7 между ними. Пусковое устройство, которое включает подпружиненный шарик 5, толкатель 9 и клин 8, размещено в стакане и рукоятке. На стволе установлен глушитель шума 10. Пневмолом укомплектован сменным рабочим оборудованием (включая лом и другие инструменты), которое закрепляют с помощью колпака 11. При нажатии на рукоятку 6 шарик 5 (при помощи клина и толкателя) открывает доступ сжатому воздуху, поступающему из компрессора, в воздухораспределительное устройство 4. Оно направляет сжатый воздух попеременно в верхнюю и нижнюю полости, в результате чего ударник 2 с заданной частотой наносит удары по рабочему инструменту. Отработанный воздух удаляется через радиальные отверстия в стволе и глушитель.

Гидравлический переносной инструмент ударного действия включает ручные гидравлические молотки. Принцип их работы основан на использовании энергии удара бойка-ударника, которую ему сообщает рабочая жидкость, поступающая под давлением в канал ствола ударника. При поступательном движении вперед ударник производит удар по хвостовику рабочего инструмента, а затем возвращается в исходное положение. Для обеспечения в гидромолотках заданного давления (7–16 МПа) используют, как правило, мобильные гидростанции. Ведущими производителями гидравлических переносных молотков и мобильных гидростанций являются фирмы «Lifton» (Англия) и «Krupp» (Германия). Типоразмерный ряд таких молотков по энергии удара охватывает широкий диапазон величин: от 18 до 110 Дж. В таблице 8.17 представлены технические характеристики гидравлических молотков фирмы «Lifton».

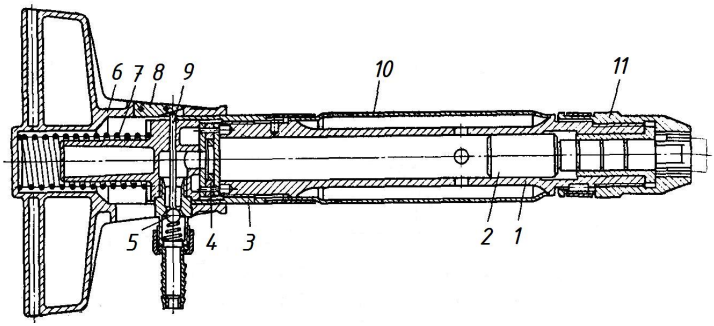


Рисунок 8.37 – Конструктивная схема пневмолома:
1 – ствол; 2 – ударник (боек); 3 – стакан; 4 – воздухораспределительное устройство;
5 – подпружиненный шарик; 6 – рукоятка; 7 – амортизационная пружина;
8 – клин; 9 – толкатель; 10 – глушитель; 11 – колпак

При больших объемах работ для ударного разрушения покрытий применяют специализированные машины или одноковшовые экскаваторы, которые имеют в качестве рабочего оборудования пневматические и гидравлические молоты.

В качестве примера пневматических молотов можно привести автобетоноломы на шасси автомобиля МАЗ. Рабочим оборудованием является пневмомолот, который связан соответствующими пневмолиниями с компрессорной станцией (ЗИФ-ВКС-6). На базовом шасси устанавливают поворотную платформу, на которой располагают компрессорную станцию, механизм поворота платформы и систему управления рабочим оборудованием с сиденьем оператора, а в задней части – пневмомолот. Пневмомолот двойного действия с ударным наконечником обеспечивает обработку полосы шириной 3,8 м (с частотой 40 ударов в минуту) с производительностью 70–100 м^2/ч.

Таблица 8.17 – **Технические характеристики ручных гидравлических молотков**

Марка	LH 10	LH 18S	LH 21S	LH 25S	LH 25E
Масса, кг	13,9	22,5	24,7	30,6	31,0
Расход рабочей жидкости, л/мин	18–22	18–22	18–30	18–30	18–30
Рабочее давление, МПа	7–9	9–11	10,5–12,5	10,5–12,5	10,5–12,5
Частота ударов, мин$^{-1}$	2400	1600	1450	1270	1270
Энергия удара, Дж	18	65	85	110	110
Уровень вибрации, дБ	142	138	141	141	139
Уровень шума, дБ	94	96	94	100	100

В современных гидравлических молотах-бетоноломах энергию удара рабочего инструмента можно точно регулировать, что в сочетании с выбранной подачей машины обеспечивает необходимые размеры отломанных кусков цементобетона, которые затем перегружаются экскаватором или погрузчиком. Они развивают энергию удара до 9 кДж, что обеспечивает наименьшую энергоемкость при разрушении твердых покрытий по сравнению с другими видами силового воздействия. Гидромолоты, используемые для этих целей, различают по следующим признакам:

– *по принципу действия* – простого и двойного действия;

– *по типу аккумулирующего энергию органа* – с гидравлическим и пневматическим аккумулятором.

Гидромолоты приводят от насосов гидросистемы базовой машины или одноковшового экскаватора. В гидромолотах двойного действия подъем его ударной части в режиме холостого хода происходит под давлением рабочей жидкости, а ее разгон вниз – под действием собственной силы тяжести и энергии рабочей жидкости или сжатого воздуха, которая накапливается при холостом ходе в аккумуляторе. На рисунке 8.38 представлена конструктивная схема гидромолота на базе неполноповоротного экскаватора. Гидромолот 6 крепится к рукояти 8 экскаватора с помощью вставки-манипулятора 7. Его управление гидромолотом осуществляют при помощи гидроцилиндров 3, 4 и 5 рабочего оборудования экскаватора, а также гидроцилиндров манипулятора (на рисунке не показаны).

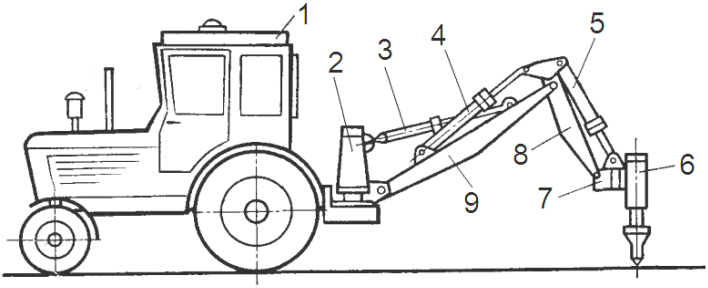


Рисунок 8.38 – Конструктивная схема экскаватора с гидромолотом:
1 – базовый экскаватор; 2 – поворотная колонка; 3 – гидроцилиндр управления стрелой; 4 – гидроцилиндр управления рукоятью; 5 – гидроцилиндр управления положением гидромолота; 6 – гидромолот; 7 – вставка – манипулятор; 8 – рукоять; 9 – стрела

Как правило, молоты устанавливают на рукоять экскаватора с любым ковшовым механизмом при помощи специальных переходников-адаптеров (при снятом ковше), снабженных гидроразъемами для присоединения к гидросистеме экскаватора.

На рисунке 8.39 представлена принципиальная схема гидромолота с гидроаккумулятором. К его основным элементам относятся корпус 2 с направляющей трубой, ударник 3 и сменный рабочий инструмент 1, а также рабочий цилиндр 6 с распределительным золотником, гидроаккумулятором 13 и насосом 12. Цикл работы гидромолота включает следующие стадии:

– подъем ударника вверх;

– его торможение перед верхней мертвой точкой;

– разгон вниз;

– удар по хвостовику рабочего инструмента.

При разгоне ударника 3 вверх рабочая жидкость поступает от насоса 12 через золотник 10 в штоковую полость 4 рабочего цилиндра 6 и в гидроаккумулятор 13, накапливаясь в нем. В конце подъема золотник соединяет поршневую полость 8 цилиндра с напорной линией 9, при этом происходит торможение ударника и вытеснение жидкости в гидроаккумулятор. После остановки ударника в верхней мертвой точке он разгоняется вниз с ускорением под действием силы тяжести и давления рабочей жидкости, которая действует на поршень 5. Далее аккумулятор разряжается, отдавая накопленную жидкость в рабочий цилиндр 6. В конце хода ударника 3 жидкость через обратный клапан 7 поступает из поршневой полости 8 в сливную магистраль 11, затем следует удар по хвостовику рабочего инструмента 1. Цикл завершается.

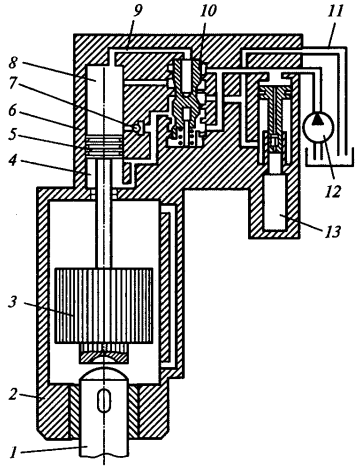


Рисунок 8.39 – Принципиальная схема гидромолота с гидроаккумулятором:
1 – рабочий инструмент; 2 – корпус с направляющей трубой; 3 – ударник; 4 – штоковая полость рабочего цилиндра; 5 – поршень; 6 – рабочий цилиндр; 7 – обратный клапан; 8 – поршневая полость цилиндра; 9 – напорная линия; 10 – золотник; 11 – сливная магистраль; 12 – насос; 13 – гидроаккумулятор

На рисунке 8.40 приведена одна из типичных гидравлических систем молота с гидроаккумулятором. Двигатель внутреннего сгорания через редуктор приводит гидронасосы, которые обеспечивают эксплуатацию гидромолота.

Гидромолоты с гидроаккумулятором имеют КПД в пределах 0,55–0,65 и развивают энергию удара до 40 кДж при частоте удара 2,5–5,0 Гц. Масса ударника составляет 100–600 кг.

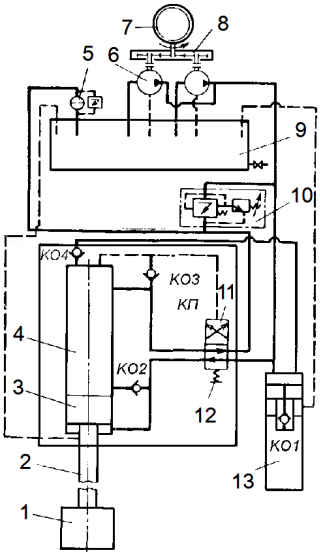


Рисунок 8.40 – Принципиальная схема гидросистемы молота с гидроаккумулятором:
1 – ударник; 2 – шток;
3 – поршень; 4 – рабочий цилиндр;
5– фильтр; 6 – насос; 7 – двигатель;
8 – редуктор; 9– бак;
10– предохранительный клапан;
11 – распределительный золотник;
12 – пружина;
13– аккумулятор; КО 1, КО 2, КО 3, КО 4 – обратные клапаны

Гидропневмомолот работает следующим образом. *В исходном положении* (рисунок 8.41, *а*) рабочую жидкость под напором подают в полость А распределителя 1, а также в камеру взвода 3, управляющую камеру 7 ударного блока 8 и через каналы Б и В в полость 12 золотника 14. Напорное давление жидкости действует на ступень 13 золотника, перемещая его в крайнее нижнее положение, а также на нижнюю ступень 4 бойка, заставляя его двигаться вверх (холостой ход) и при этом сжимая воздух в пневмоаккумуляторе 9. При этом жидкость из камеры рабочего хода 8 вытесняется через камеру 10 золотника в слив.

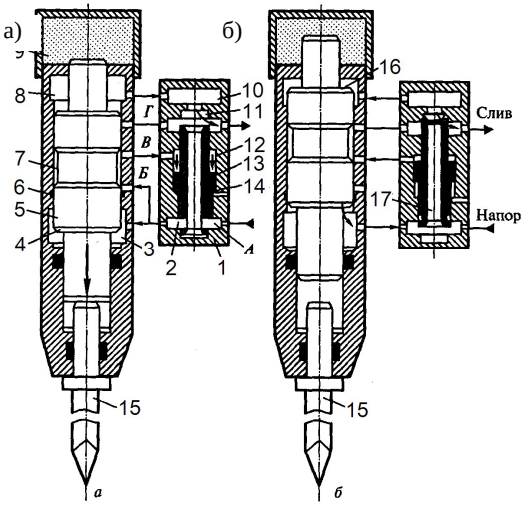


Рисунок 8.41 – Принципиальная схема гидромолота с пневмоаккумулятором:
а – исходное состояние; *б* – верхнее положение ударника:
1 – распределитель; 2 – нижняя ступень золотника; 3 – камера взвода; 4 – нижняя ступень ударника; 5 – ударник; 6 – ударный блок; 7 – управляющая камера; 8 – камера рабочего хода; 9 – пневмоаккумулятор; 10 – камера золотника; 11 – проточка в корпусе рас-

пределителя; 12 – полость золотника; 13 – ступень золотника; 14 – золотник; 15 – сменный рабочий инструмент; 16 – верхняя ступень золотника; 17 – центральное отверстие распределителя

В верхнем положении ударника (рисунок 8.41, *б*) управляющая камера 7 соединяет каналы В и Г между собой, а полость 12 – со сливом. Под давлением жидкости на нижнюю ступень 2 золотника он перемещается вверх, входит своей верхней частью в проточку 11 корпуса распределителя, перекрывает сливную линию и через центральное отверстие 17 распределителя соединяет напорную линию с камерой взвода 3 и камерой рабочего хода 8. Ударник начинает движение вниз при совместном воздействии давления воздуха (из аккумулятора) и жидкости (поскольку площадь ступени 16 больше площади ступени 13). При этом жидкость переливается из полости взвода в камеру рабочего хода. Ударник 5 ударяет по хвостовику рабочего инструмента 15, управляющая камера 7 соединяет каналы Б и В с напорной гидролинией, а золотник перебрасывается вниз. Цикл завершается.

Гидромолоты с пневмоаккумулятором развивают энергию удара в пределах от 0,1 до 40 кДж при частоте 3–12 Гц. Пневмоаккумулятор обеспечивает давление сжатого воздуха до 0,6–1,2 МПа, давление в гидросистеме составляет, как и в молотах с гидроаккумулятором, 8–19 МПа.

Гидромолоты оснащают набором сменных рабочих инструментов: тупой и конусной пиками, продольной и поперечной лопатами, зубилом и трамбовкой. Зубило и конусную пику применяют для обработки цементобетона и других твердых материалов, тупую пику – для дробления, лопаты – для разрушения асфальтобетона и мерзлого грунта.

Крупные производители выпускают гидромолоты, типоразмерный ряд которых по главному параметру – энергии удара – охватывает весьма широкий диапазон значений. В таблице 8.18 представлены технические характеристики некоторых гидромолотов. В СНГ основным производителем гидромолотов является машиностроительный завод «Гидромолот» (до 2005 г. – «Тверьтехоснастка»), который оснащает гидромолотами серии НМ экскаваторы от 2-й до 5-й размерных групп (массой от 2,5 до 32 т). Эти молоты выполнены по единой конструктивной схеме, которая обеспечивает совместное использование энергии гидросистемы экскаватора и пневмосистемы гидромолота.

Как было отмечено, гидромолоты-бетоноломы используют в двух вариантах: *в качестве сменного оборудования* одноковшовых экскаваторов с жесткой подвеской и *в качестве основного рабочего оборудования* на специальном шасси.

Современные ресурсосберегающие технологии ремонта и восстановления дорожной одежды ориентированы на переработку фрагментов разрушенных ЦБ покрытий непосредственно на дороге. Для этих целей используют прицепные и самоходные установки, которые работают в комплекте с бетоноломами и обеспечивают измельчение кусков цементобетона до приемлемых в технологиях рециклирования размеров. Как правило, они имеют гусеничное шасси, на раме которого смонтировано рабочее оборудование, включая дробилку и сортировочную установку. В частности, самоходные машины для дробления цементобетона и асфальтобетона, которые изготавливает фирма «Extec» (Англия), имеют щековую дробилку и вибрационный питатель с колосниковым грохотом и транспортером для мелкой фракции материала. Гидравлическая система управления рабочими органами обеспечивает бесступенчатое регулирование частоты оборотов эксцентрикового вала питателя и согласованное движение потока материала от вибрационного питателя к щековой дробилке. Установки серии С-10 и С-12 представляют собой энергонасыщенные машины с мощностью 166 и 269 кВт (при массе 30,75 и 45,0 т) соответственно, что позволяет дробить цементобетон (при частоте движения подвижной щеки 5,4 и 5,0 Гц), размеры фрагментов которого соответствуют размерам приемного отверстия дробилок – 1000×650 мм и 1200×750 мм.

Таблица 8.18 – **Технические характеристики гидромолотов**

Марка	Энергия удара, Дж	Частота ударов, мин$^{-1}$	Рабочее давление, МПа	Расход рабочей жидкости, л/мин	Масса, кг
«Гидромолот» (Россия)					
НМ-140	750	600	10	60–120	280
НМ-230М	1000	540	10	80–120	350
НМ-440М	4000	300	16	160–240	1200
«Lifton» (Англия)					
LH 70	110	1300–2200	8,0–12,5	15–28	72
LH 300	520	750–1230	10,0–15,5	40–70	300
LH 1200	2300	350–700	12–17	90–130	1250
«Krupp» (Германия)					
HM 60	600	700–1500	9–12	15–35	
HM 720	7200	350–1200	9–17	90–120	1180
HM 4000	40000	330–470	15,5–19,0	400–480	6900
«Montabert» (Франция)					
SMS 30	–	655–1250	13?5	18–28	78

SMS 70	–	640–2000	15,5	20–50	190
SMS 140	–	755–1150	12,5	70–120	426

Машины для вскрытия дорожных покрытий (дорожные фрезы) являются более экономичными и производительными по сравнению с машинами ударного действия. Фрезы могут разрушать дорожную одежду на всю ее толщину или срезать ее отдельные слои в соответствии с поставленной задачей. В зависимости от назначения дорожные фрезы используют в качестве:

– *самостоятельных машин* для разрушения дорожных покрытий;

– *рабочих органов машин-комбайнов*, обеспечивающих почти весь технологический процесс ремонта и восстановления дорожной одежды.

Информация о дорожных фрезах как самостоятельных машинах изложена достаточно подробно в разделе по капитальному ремонту АБ покрытий. Для разрушения ЦБ покрытий используют те же самоходные фрезы. Различия состоят в конфигурации резцов для вскрытия АБ и ЦБ покрытий, поскольку их удельные сопротивления резанию существенно различаются.

Расчет пневмоинструментов ударного действия включает определение мощности, развиваемой инструментом, а также выбор компрессора и расчет воздухоподводящей сети.

При определении мощности, которую может реализовать пневмомолоток при ударе, допускают, что при постоянном давлении сжатого воздуха на верхнем торце его ударника и постоянном противодавлении на нижнем торце ударник движется равноускоренно.

Мощность пневмомолотка (кВт) можно выразить через работу ударника A_1 при единичном ударе с учетом его КПД и частоты ударов:

$$N_{пм} = A_1 \eta_{уд} n_{уд} / 1000, \tag{8.104}$$

где $\eta_{уд}$ – КПД ударника;

$n_{уд}$ – частота ударов, т.е. число ударов в секунду.

Работа ударника A_1 (Дж)

$$A_1 = Fl = p_i Sl = \frac{\pi d^2}{4} p_i l, \tag{8.105}$$

где F – сила сжатого воздуха, действующая на ударник, Н;

l – ход (длина пути) ударника, м ;

S – площадь поперечного сечения ударника, $S = \frac{\pi d^2}{4}$,м^2;

d – диаметр ударника, м;

p_i – среднее индикаторное давление в цилиндре молотка при рабочем ходе ударника, Па; p_i можно определить, принимая неизбежные потери дав-

ления в 30 % от номинального и противодавление снизу на ударник на 15 % выше атмосферного. В этом случае

$$p_i = 0{,}7\,p_0 - 1{,}15, \tag{8.106}$$

где p_0 – номинальное давление сжатого воздуха на входе в инструмент, Па.

КПД пневмоинструмента располагается в довольно широком интервале (от 0,85 до 0,98), что в ряде случаев требует его точной оценки. В общем случае КПД зависит от масс соударяющихся тел и их упругих свойств и определяется по формуле

$$\eta_{\text{уд}} = \frac{m_{\text{уд}} m_{\text{пр}}}{(m_{\text{уд}} + m_{\text{пр}})^2}(1 + \text{к}_{\text{в}})^2, \tag{8.107}$$

где $\text{к}_{\text{в}}$ – коэффициент восстановления, зависящий от модуля упругости соударяемых материалов;

$m_{\text{уд}}$ – масса ударника, кг

$m_{\text{пр}}$ – приведенная масса рабочего инструмента, учитывающая сопротивление обрабатываемого материала, кг,

$$m_{\text{пр}} = \alpha m_{\text{ри}}, \tag{8.108}$$

где α – коэффициент, зависящий от физико-механических характеристик обрабатываемого материала, $\alpha = 1...5$.

Из формулы (8.107) следует, что наиболее высокий КПД удара достигается при $m_{\text{уд}} / m_{\text{пр}} = \text{к}_{\text{в}}$, что необходимо учитывать при проектировании.

Продолжительность рабочего хода (с) *ударника* с учетом принятых допущений

$$t_{\text{рх}} = \sqrt{\frac{2l}{a}},$$

где a – ускорение ударника, м/с^2,

$$a = p_i \frac{\pi d^2}{4} \frac{1}{m_{\text{уд}}}.$$

Тогда

$$t_{\text{рх}} = 1{,}6\sqrt{\frac{m_{\text{уд}} l}{p_i d^2}}. \tag{8.109}$$

Число ударов бойка $n_{\text{уд}}$ в единицу времени (с$^{-1}$) определяют с учетом следующих соображений:

$$n_{\text{уд}} = 1/T, \tag{8.110}$$

где T – время полного цикла движения ударника, состоящего из рабочего и холостого (обратного) хода; время холостого хода $t_{хх}$ принимают равным 1,2 $t_{рх}$, т.е.

$$T = t_{рх} + t_{хх} = 1{,}2 t_{рх} . \qquad (8.111)$$

Выбор компрессора и расчет воздухоподводящей сети. Необходимую производительность (м^3/с) компрессорной установки для питания пневмоинструментов рассчитывают с учетом их количества по формуле

$$П_к = к_1 к_2 к_3 \sum_{i=1}^{N} q_i , \qquad (8.112)$$

где $к_1$ – коэффициент одновременности работы инструментов,

$$к_1 = \begin{cases} 1 - \text{для одного,} \\ 0{,}9 - \text{для двух или трех,} \\ 0{,}85 - \text{для четырех инструментов;} \end{cases}$$

$к_2$ – коэффициент, учитывающий потери воздуха в сети, $к_2$ = 1,20…1,35;

$к_3$ – коэффициент, учитывающий износ инструмента, $к_3$ = 1,1…1,2;

$\sum_{i=1}^{N} q_i = q_1 + q_2 + ... + q_i$ – суммарный расход воздуха всеми N инструментами, м^3/с;

$q_1, q_2, \ldots, q_i$ – расход воздуха каждым используемым пневмоинструментом.

Расход воздуха (м^3/с) одним инструментом

$$q_i = 1{,}2 n_{уд} \frac{\pi d^2}{4} l p_i . \qquad (8.113)$$

Минимальный диаметр трубопровода или шланга

$$d = 88 \sqrt[5]{Q^2 L_{экв} / \Delta p} , \qquad (8.114)$$

где Q – расход воздуха на данном участке воздухоподводящей сети, м^3/мин;

$L_{экв}$ – эквивалентная длина участка, м,

$$L_{экв} = l_г + l_{мп} , \qquad (8.115)$$

$l_г$ – геометрическая длина участка;

$l_{мп}$ – местные потери давления в арматуре сети, которые характеризуют дополнительной длиной (из таблицы 8. 19).

Расчет параметров оборудования для вскрытия дорожных покрытий резанием. К числу основных параметров дорожной фрезы относятся температура (для АБ покрытий), скорость резания и толщина срезаемого слоя за

один оборот фрезерного барабана, скорость передвижения машины, производительность процесса разрушения покрытий.

Таблица 8.19 – **Местные сопротивления и их эквивалентная длина**

Сопротивление	Эквивалентная длина (м) при диаметре шланга (мм)				
	25	50	80	100	150
Вентиль	3,0	7,0	11,0	15,0	25,0
Колено (90^0)	0,2	0,4	0,7	1,0	1,4
Тройник	2,0	4,0	7,0	10,0	17,0
Переходник	0,5	1,0	2,0	2,5	4,0

Тяговый расчет фрезы проводят с учетом всех сопротивлений, действующих на машину в рабочем режиме. Для холодной фрезы общее сопротивление W складывается из сопротивления ходовой системы при перемещении машины $W_{пер}$ и сопротивления фрезерованию дорожного покрытия зубьями барабана $W_{фр}$.

Уравнение тягового баланса машины (на пневмоколесном ходу) для вскрытия покрытий

$$T \geq \sum W = W_{пер} + W_{фр}\ , \qquad (8.116)$$

где T– сила тяги на ведущих колесах машины, Н.

Если пренебречь силами сопротивления качению колеса, то силу тяги машины можно определить из выражения

$$T = \eta_{тр} u_{тр} N_{дв} /(n_{кол} \omega_{д} r_{кол})\ , \qquad (8.117)$$

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

$u_{тр}$ – передаточное число трансмиссии;

$N_{дв}$ – мощность силовой установки, Вт;

$n_{кол}$ – число ведущих колес;

$\omega_{д}$ – угловая скорость вращения вала двигателя, $с^{-1}$;

$r_{кол}$ – радиус ходового колеса, м.

Напомним, что *силу сопротивления передвижению машины* рассчитывают по формуле

$$W_{пер} = (f + i_{у})G\ , \qquad (8.118)$$

где f – коэффициент сопротивления передвижению,

$$f = \begin{cases} 0{,}014...0{,}018 \text{ – для сухого АБ,} \\ 0{,}018...0{,}022 \text{ – для мокрого АБ;} \end{cases}$$

$i_{у}$ – индекс уклона, $i_{у}$ = 0,03…0,07;

G – сила тяжести машины, Н (если в состав машины входит перегрузочный конвейер, следует учитывать силу тяжести материала, который транспортируется его лентой) .

Сила сопротивления фрезерованию

$$W_{фр} = k_р S \,, \tag{8.119}$$

где $k_р$ – удельное сопротивление фрезерованию зубьями, $k_р$ = 4…10 МПа для асфальтобетона;

S – суммарная (усредненная) площадь поверхности зубьев, одновременно контактирующих с разрушаемым материалом, м^2,

$$S = m_з S_з \,, \tag{8.120}$$

где $m_з$ – число зубьев на барабане, одновременно разрыхляющих бетон;

$S_з$ – площадь поверхности одного зуба, м^2.

Баланс мощности составляют, учитывая затраты мощности на привод ходовой системы $N_{пер}$ в рабочем режиме, фрезы $N_{фр}$ и ленточного транспортера $N_{лк}$.

Мощность (кВт), *затрачиваемая на передвижение*,

$$N_{пер} = W_{пер} \upsilon_р /(1000 \eta_{тр}) \,, \tag{8.121}$$

где $\upsilon_р$ – скорость рабочего хода машины, м/с;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии машины.

Мощность (кВт) *на привод фрезы*

$$N_{фр} = W_{фр} \omega_{фр} R_{фр} /(1000 \eta_{пф}) \,, \tag{8.122}$$

где $\omega_{фр}$ – угловая скорость вращения фрезерного барабана, $\omega_{фр} \le 0{,}15$ рад/с ;

$R_{фр}$ – радиус фрезы по режущим зубьям, м;

$\eta_{пф}$ – КПД привода фрезы.

Мощность (кВт) *на привод ленточного конвейера-перегружателя*

$$N_{лк} = \Pi_{лк} g \left[к_{ск} (L_{ну} + L_{гу}) + H_{лк} \right] /(3600 \eta_{пк}) \,, \tag{8.123}$$

где $\Pi_{лк}$ – производительность конвейера, т/ч;

$к_{ск}$ – коэффициент сопротивления конвейера, $к_{ск}$ = 2…3;

$L_{ну}$, $L_{гу}$, $Н_{лк}$ – длины наклонного и горизонтального участков, а также высота конвейера, м ;

$\eta_{пк}$ – КПД привода конвейера.

9 АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Современные требования, предъявляемые к дорожно-строительным машинам, могут быть удовлетворены за счет средств автоматизации, позволяющих освободить человека от непосредственного управления технологическим процессом.

Процесс управления – это совокупность рабочих операций и операций управления.

Рабочая операция – это выполнение рабочими органами машины операции, обусловленной ее назначением (например, для асфальтоукладчика – это укладка дорожного покрытия, для катка – уплотнение покрытия, для конвейера – перемещение материалов и т. д.).

Операция управления – это операция, которая обеспечивает правильное и качественное выполнение рабочей операции.

Рабочие операции и операции управления могут выполняться человеком или техническими устройствами.

Объект управления – это техническое средство (машина или механизм), выполняющее заданную рабочую операцию.

Система управления – совокупность управляющих устройств и объекта управления.

Механизация – это замена труда человека в рабочих операциях (при этом управление машинами остается за человеком).

Автоматизация – замена труда человека в операциях управления.

Дорожно-строительные машины по объему автоматизации разделяют на два типа: *частичная* (или локальная) и *комплексная* автоматизация.

Частичная автоматизация машины предусматривает автоматизацию отдельных исполнительных органов. При этом часть операций по управлению может выполнять оператор.

Комплексная автоматизация машины обеспечивает выполнение заданных функций всех агрегатов и узлов машины в автоматическом режиме без участия оператора.

В зависимости от функций, выполняемых автоматическими устройствами, различают следующие виды автоматизации: *управление, регулирование, информация, контроль, защита и диагностика.*

Автоматическое управление – процесс автоматического изменения параметров объекта по заданной программе. К характерным операциям управления при помощи автоматических устройств относятся, например, включение и выключение механизмов и агрегатов машин (вентилятора системы охлаждения двигателя и т.п.). Комплекс технических устройств, содержащий объект управления и автоматическое управляющее устройство, называют *системой автоматического управления (САУ)*.

Автоматическое регулирование – процесс автоматического поддержания выходного параметра объекта на заданном уровне. При этом значение параметра может изменяться по заданному закону или быть постоянным. К характерным примерам регулирования относится поддержание постоянной частоты вращения коленчатого вала ДВС. Этот процесс осуществляет *система автоматического регулирования (САР)*.

Автоматический контроль – проверка рабочего процесса (включая процессы управления) и оценка его характеристик, которые осуществляет *система автоматического контроля (САК)*.

Автоматическая защита – совокупность операций, осуществляемых техническими средствами с целью предотвращения экстремальных и аварийных режимов работы. К *системам автоматической защиты (САЗ)* относятся предохранительные клапаны гидравлических и пневматических систем, различные блокировочные устройства.

Автоматическое диагностирование – процесс определения технического состояния объекта автоматизации, который осуществляет *система автоматического диагностирования (САД)*.

Взаимосвязь основных функций автоматического управления можно представить схемой, приведенной на рисунке 9.1.

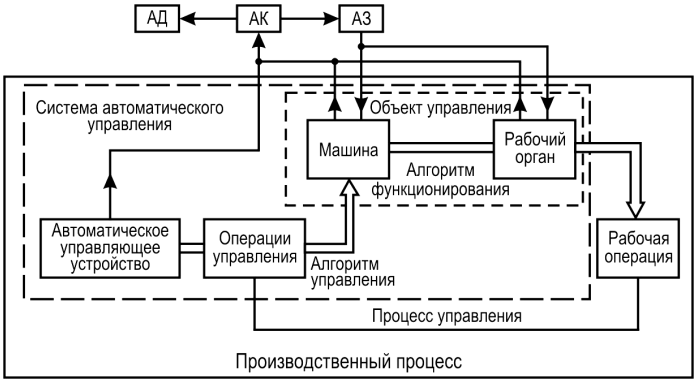


Рисунок 9.1 – Схема взаимосвязи основных функций автоматического управления:
АК – автоматический контроль; АД – автоматическое диагностирование;
АЗ – автоматическая защита

В настоящее время для дорожно-строительных машин разработаны следующие *системы и средства автоматизации*:

1) устройства автоматического контроля технического состояния и работоспособности основных узлов машины;

2) системы оптимизации нагрузок на рабочие органы и перемещений элементов машины;

3) копирные, в том числе лазерные, системы;

4) следящие имитационные системы;

5) микропроцессорные ограничители грузоподъемности и системы контроля глубины копания;

6) системы контроля плотности грунта.

Основными задачами автоматизации машин и оборудования, применяемых в дорожно-строительном комплексе, являются:

– повышение производительности и улучшение качества выполняемых работ;

– непрерывный контроль технического состояния машины путем проверки работоспособности ее основных систем (двигателя, трансмиссии, гидросистемы, электрооборудования и др.);

– совершенствование системы учета работы машин с целью энергосбережения;

– повышение безопасности выполняемых работ и обеспечение экологической безопасности окружающей среды.

К системам управления дорожно-строительных машин предъявляют следующие требования:

1) одновременное управление несколькими параметрами (курсом, скоростью движения, поперечным и продольным уклонами, подачей дорожно-строительных материалов и др.);

2) компенсация воздействия на элементы управления возмущающих воздействий от неровности поверхности, неоднородности разрабатываемой среды и распределяемых материалов;

3) регулирование параметров в широком временном диапазоне.

Для реализации этих требований и повышения эффективности дорожно-строительных работ в СНГ освоен выпуск ряда автоматизированных комплексов. В их числе унифицированный агрегатированный комплект автоматической аппаратуры «АКА-Дормаш», который предназначен для автоматического управления рабочими органами различных дорожно-строительных машин (рисунок 9.2). Для скреперов и траншеекопателей применяют систему «Стабилоплан», для бульдозеров – «Автоплан», для автогрейдеров и профилировщиков – «Профиль», для асфальтоукладчиков и других укладочных машин – «Стабилослой». Подобные зарубежные системы (например, немецкая «MOBA Mobile Automation», датская «Mini-Line», американская «Trimble» и др.) работают по такому же принципу, но отличаются комплектующими изделиями.

Аппаратура комплектов включает следующие автономные системы и средства управления:

1) маятниковые датчики, установленные на борту машины, для контроля положения рабочего органа;

2) копирные системы, обеспечивающие контроль положения по внешнему копиру – проволоке (тросу), бордюру, колесу, лыже, поверхности готового покрытия, радио- и световому лучу;

3) комбинированные системы, в которых контроль углового положения осуществляется автономными датчиками, а определение положения по высоте – копиром;

4) спутниковые навигационные комплексы.

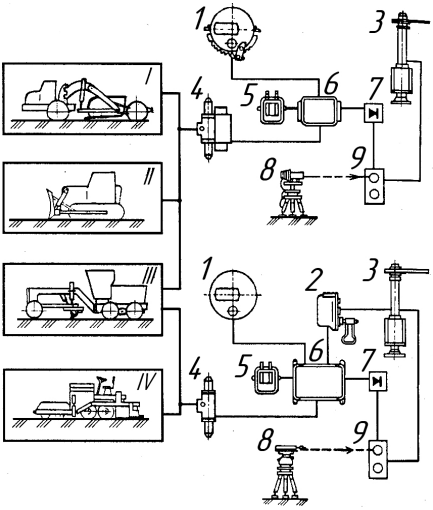


Рисунок 9.2 – Комплект аппаратуры «АКА-Дормаш»:
I – Стабилоплан; II – Автоплан; III – Профиль; IV – Стабилослой;
1 – автономный маятниковый датчик;
2 – щуповой (копирный) датчик;
3 – подъемное устройство;
4 – электрогидрораспределитель;
5 – пульт дистанционного управления;
6 – вспомогательный блок; 7 – согласующее устройство; 8 – лазерный излучатель;
9 – фотоэлектрический приемник

По положению рабочего органа машин системы автоматического управления разделяют на *одно-*, *двух-* и *трехканальные*.

При одноканальных системах управления рабочий орган машины удерживается в заданном положении в одной плоскости: продольной – у скреперов и бульдозеров, поперечной – у автогрейдеров. К таким системам относятся «Стабилоплан-1» и системы последующих поколений – «Стабилоплан-10» и «Копир-Стабилоплан» – для скреперов, «Автоплан-1» и «Копир-Автоплан-10» – для бульдозеров, «Профиль-1» и «Профиль-10» – для легких и средних автогрейдеров.

При двухканальных системах управления стабилизация положения рабочего органа обеспечивается одновременно в продольной и поперечной плоскостях. К этим системам относятся «Комбиплан» для бульдозеров, «Профиль-2» и «Профиль-20» – для средних и тяжелых автогрейдеров, «Стабилослой-1» и «Стабилослой-10» – для асфальтоукладчиков и других укладчиков покрытий. Унифицированный ряд систем автоматического

управления «Профиль», предназначенных для управления положением рабочих органов, представлен в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – **Унифицированный ряд систем «Профиль»**

Наименование системы	Вид системы	Применение системы
Копир-Автоплан-10	Одноканальная (автономная, копирная по жестким направляющим)	Бульдозеры
Копир-Стабилоплан-10	Одноканальная (автономная, копирная по жестким направляющим, копирная по лазерным направляющим)	Скреперы
Стабилослой-10	Двухканальная комбинированная (автономная, копирная по жестким направляющим)	Асфальтоукладчики
Комбиплан-10	Двухканальная комбинированная (автономная, копирная по лазерным направляющим)	Бульдозеры
Профиль-30 (включая Профиль-10 и Профиль-20)	Двухканальная комбинированная (автономная, копирная по жестким направляющим, копирная по лазерным направляющим)	Автогрейдеры, асфальтоукладчики, дреноукладчики, профилировщики

При трехканальных системах управления, помимо фиксации положения рабочего органа в двух ортогональных вертикальных плоскостях, имеется еще и управление движением машины в плане (по курсу). Системы управления «Профиломат-1», «Профиломат-2, -5, -6 и -7» устанавливают на профилировщиках оснований и укладчиках покрытий, входящих в комплект машин типа ДС-110 для строительства цементобетонных покрытий.

По назначению технические средства автоматизации можно разделить на четыре группы:

1) средства получения информации о параметрах состояния механизмов и агрегатов машины (чувствительные элементы, датчики);

2) средства приема и передачи информации, а также преобразования управляющих команд, т.е. преобразующие элементы (усилители сигналов, каналы связи, преобразователи и сравнивающие устройства);

3) средства получения информации о задачах автоматического контроля, регулирования или управления, т.е. задающие элементы (запоминающие и программные устройства на базе микропроцессоров и микрокомпьютеров);

4) средства регулирования параметров состояния механизмов и агрегатов машины, т.е. исполнительные элементы (усилители входных сигналов и исполнительные механизмы, преобразующие эти сигналы в энергию механических перемещений).

9.1 Технические средства автоматизации

Маятниковые датчики и копирные системы автоматического нивелирования. Большинство систем, используемых в машинах различного назначения (см. рисунок 9.2), комплектуют автономным маятниковым датчиком 1, щуповым (копирным) датчиком 2, подъемным устройством 3, электрогидрораспределителем 4, пультом дистанционного управления 5 и вспомогательным блоком 6.

Вместо щупового или маятникового датчика часто используют следящую систему управления с дискретным регулированием. В этом случае систему дополнительно оснащают унифицированным согласующим устройством 7, лазерным излучателем 8, вырабатывающим световой луч в качестве копира, и фотоэлектрическим приемником 9.

В качестве *датчиков поперечного уклона (датчиков углового положения)* используют датчики трансформаторного типа, преобразующие угловое положение корпуса относительно гравитационной вертикали в электрический сигнал.

Датчик углового положения типа ДКБ (рисунок 9.3) содержит расположенный в корпусе 1 маятник 3, подвешенный на валу 4, который является чувствительным элементом датчика. Маятник представляет собой тонкостенный цилиндр с дном, подвешенный на оси вращения, у которого центр тяжести смещен относительно точки подвеса. С маятником связан тонкий экран 5, перемещающийся в зазоре блока катушек 6 индуктивно-трансформаторного преобразователя 7. При повороте корпуса датчика относительно неподвижного маятника происходит взаимное перемещение экрана и катушек, которое приводит к пропорциональному изменению выходного сигнала преобразователя. Демпфирование колебаний маятника, возникающих в процессе движения машины, осуществляет магнитно-индукционный успокоитель на постоянных магнитах 8, соединенных магнитопроводом 9. Все элементы датчика закрыты кожухом 2, а его соединение с пультом управления осуществляется через штепсельный разъем 10.

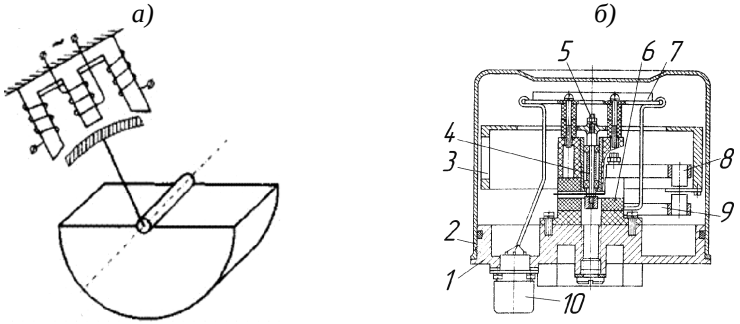


Рисунок 9.3 – Датчик углового положения (поперечного уклона) ДКБ:
а – принципиальная схема; *б* – конструктивная схема (поперечный разрез):
1 – корпус; 2 – кожух; 3 – маятник; 4 – вал; 5 – экран; 6 – катушка; 7 – трансформаторный преобразователь; 8 – постоянные магниты; 9 – магнитопровод; 10 – штепсельный разъем

При работе машин с внешним копирным устройством используют *датчики продольного уклона*. *Датчик продольного уклона* типа ДЩБ преобразует высотное положение корпуса относительно жесткой направляющей (троса, опорной поверхности) в электрический сигнал. Он состоит из корпуса 1 и щупа 2 (рисунок 9.4). Снаружи имеется разъем 3 для подключения питания и зажим 4, позволяющий закреплять датчик на машине.

Щуп является чувствительным элементом датчика продольного уклона. При поступательном движении машины щуп скользит по жесткой направляющей, которая определяет заданный продольный профиль. Перемещение щупа вызывает поворот вала с закрепленным на противоположном конце экраном. Экран поворачивается в рабочем зазоре между двумя парами индуктивных катушек, изменяя индуктивную связь каждой пары обмоток. В результате на выходе датчика появляется сигнал, пропорциональный линейному перемещению щупа.

Датчики продольного уклона имеют такое же устройство и электрическую схему, как и датчики поперечного уклона.

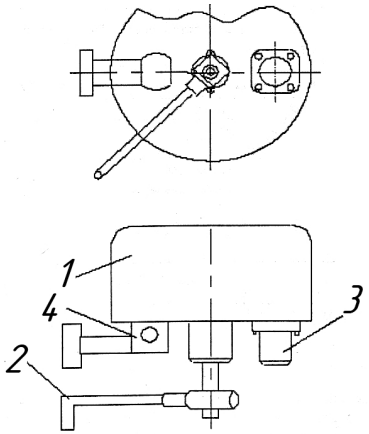


Рисунок 9.4 – Датчик продольного уклона ДЩБ:
1 – корпус; 2 – щуп; 3 – разъем; 4 – зажим

У копирных систем имеются следующие недостатки:

а) ограниченные возможности применения – только при линейном производстве работ;

б) увеличенная трудоемкость подготовительных работ по установке копирного троса;

в) погрешности в работе копирно-щуповой системы управления из-за провисания троса, колебания щупа или ошибки высотной привязки.

Ультразвуковые и *лазерные датчики* избавлены от этих недостатков. Их применяют для измерения и контроля расстояния до дорожного покрытия. Принцип работы ультразвукового датчика заключается в измерении времени, прошедшего с момента выхода направленного ультразвукового сигнала и до приема отраженного. Конструктивно датчик состоит из трех основных блоков – генератора ультразвукового сигнала, приемного устройства и микроконтроллера. Микроконтроллер рассчитывает время возвращения волны и формирует выходной сигнал, пропорциональный расстоянию до покрытия.

Для лазерных датчиков основой системы является сканер 4, посылающий лазерный луч 5 (рисунок 9.5). Луч достигает поверхности дорожного

покрытия и частично отражается обратно на приемное устройство. По времени, прошедшему между отправлением и возвращением импульса, электронный модуль определяет расстояние до дорожного покрытия и вырабатывает сигнал, который передается в блок управления системой автоматического нивелирования.

При использовании жесткой опорной базы (например, уже готового дорожного покрытия) воздействие на датчик передается через промежуточный механизм (щуп), который перемещается по базовой поверхности. В качестве такого щупа используют колесо или лыжу с выравнивающими шарнирными или рычажными устройствами.

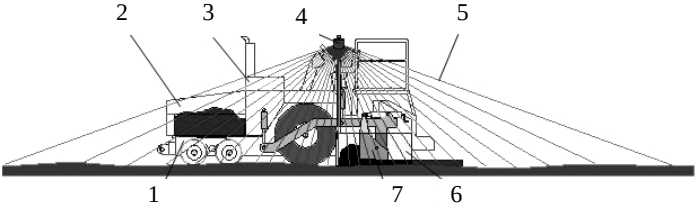


Рисунок 9.5 – Использование лазерного датчика для определения продольного уклона асфальтоукладчика:
1 – шасси; 2 – приемный бункер; 3 – силовая установка; 4 – сканер; 5 – лазерный луч; 6 – выглаживающая плита, 7 – трамбующий брус

На рисунке 9.6 приведена схема системы управления рабочих органов холодной фрезы с использованием лыжи-щупа. Заданный уклон относительно базовой плоскости 1, на которую опирается щуп-лыжа 2, устанавливают рукоятками 4. Подъем и опускание фрезы 8 производят двумя гидроцилиндрами 6, управляемыми гидрораспределителями 5 от датчиков 3 с блоками сравнения действительной и заданной величины.

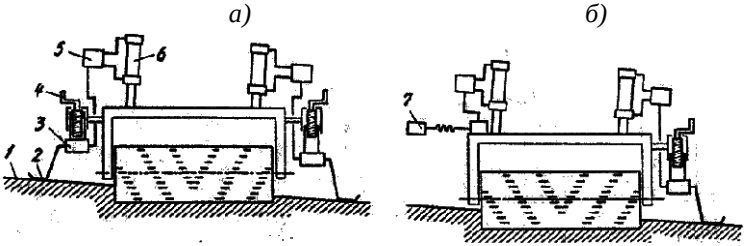


Рисунок 9.6 – Схема автоматического выдерживания продольного (*а*) и поперечного (*б*) уклонов рабочим органом машины для фрезерования дорожных покрытий:
1 – базовая плоскость; 2 – лыжа; 3 – датчик продольного уклона; 4 –привод; 5 – гидрораспределитель; 6 – гидроцилиндр; 7 – датчик поперечного уклона

Датчик поперечного уклона 7 используют, если необходимо выдерживать заданный поперечный профиль поверхности.

Лазерные системы автоматического управления. Ведущие производители дорожно-строительных машин в качестве копиров в основном используют лазерные системы управления. Их можно применять для управления как одной машиной, так и группой машин на значительных площадях и расстояниях (до 1500 м) при больших скоростях движения. Их применение обеспечивает управление курсом машины и толщиной укладываемого слоя, а также автоматическую ориентацию рабочих органов в пространстве. Опорной базой в этой системе служит секторная (в горизонтальной плоскости) или крестообразная форма излучения, образованная пересечением двух секторов.

Для этих целей служат лазерные координаторы различных конструкций. В их числе сканирующие и растровые системы.

Сканирующий координатор (рисунок 9.7, *а*) состоит из лазерного излучателя 1, который формирует оптический луч 2, воздействующий на фотоприемник 4, установленный на рабочем органе 9 машины (в данном случае на отвале бульдозера). Полученный фотоприемником сигнал проходит через блок его усиления 5, электронный ключ 6, цифровое измерительное устройство 7 и подается на датчик положения отвала 3, связанного с блоком рассогласования фотоприемника 8.

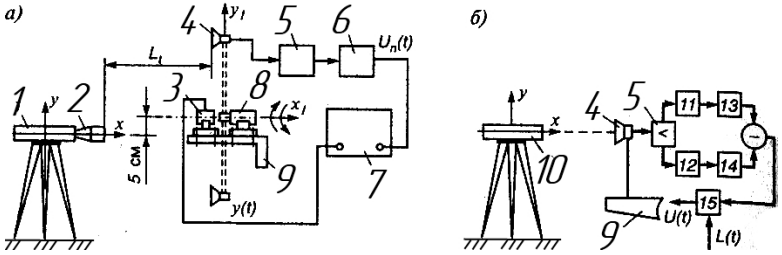


Рисунок 9.7 – Схемы лазерного сканирующего координатора (*а*) и растрового автокоординатора (*б*):
1, 10 – лазерный излучатель; 2 – формирователь оптического луча; 3 – датчик положения; 4 – фотоприемник; 5 – усилитель; 6 – электронный ключ; 7 – цифровое измерительное устройство; 8 – блок рассогласования; 9 – отвал; 11, 12 – фильтры частот; 13, 14 – детекторы; 15 – усилительно-множительное устройство

Растровый автокоординатор (рисунок 9.7, *б*) используют для программного управления рабочими органами машин. От сканирующих излучателей он отличается наличием растрового излучателя 10, фильтров частот 11 и 12, детекторов 13 и 14 и усилительно-множительного устройства 15.

Спутниковые навигационные системы управления дорожно-строительными машинами. В конце прошлого столетия ведущими косми-

ческими странами были созданы глобальные системы навигации (позиционирования): США – Global Positioning System (GPS), Россией – Глонасс, Евросоюзом – Galileo.

Управление дорожно-строительными работами с использованием GPS можно условно разделить на две категории: *машино-контроль* и *грейд-контроль*.

Машино-контроль обеспечивает эффективное управление работой различных машин (автогрейдеров, бульдозеров, скреперов, катков и экскаваторов) за счет оптимизации процессов резания, наполнения рабочих органов или уплотнения. Оператору, благодаря автоматическому снабжению необходимой информацией, всегда известны позиция рабочего органа и машины в целом на участке производства работ по отношению к заданным параметрам. В результате обеспечиваются стабильность и точность курсовой устойчивости машины без большого количества контрольных ориентиров и вешек.

Грейд-контроль обеспечивает управление качеством нивелирования и уплотнения обрабатываемой рабочей среды. Контрольные устройства системы грейд-контроля позволяют выполнить в процессе работы топографический обзор или точечную локацию места работы. Эти данные сравнивают с электронной версией рабочего проекта и при необходимости оперативно устраняют несоответствие продольного и поперечного профилей проектному заданию.

Технологии производства дорожно-строительных работ с использованием GPS основаны на трех базовых системах (рисунок 9.8):

– спутниковом комплексе;

– комплексе слежения за спутниками (базовая станция – дифференциал, корректирующий радиосигналы из космоса с учетом помех);

– комплексе оборудования производителя работ (уплотнительная или землеройно-транспортная машина с установленными на ней антеннами и приемником-накопителем информации – ресивером).

Основой технологии GPS (см. рисунок 9.8) является группа спутников 1, движущихся вокруг Земли по заданным орбитам. Спутники сканируют радиосигналами заданные районы местности и находят необходимый объект 4. Каждый спутник передает два сигнала, которые содержат информацию о взаимном расположении всей группы спутников, а также точные индивидуальные поправки к своей орбите.

На машине установлены приемник – накопитель сигналов (ресивер) 4, две антенны 3, которые связаны с приемником кабелем, устройство передачи информации 5 и компьютер 6. Принимая космические сигналы в заданной точке, GPS-приемник 4 вычисляет расстояние до каждого спутника. Для определения собственных координат в трехмерном пространстве (долгота – широта − высота) GPS-приемник учитывает сигналы четырех (и более) спутников. Чтобы уменьшить влияние различных помех (слоев атмосферы с различными

электрофизическими свойствами, рельефа местности, сооружений, деревьев и др.), используют базовую станцию 2 – дифференциал GPS (DGPS). В качестве дифференциала прменяют специальный GPS-приемник, по сигналам которого непрерывно корректируется информация, принятая мобильным приемником на машине.

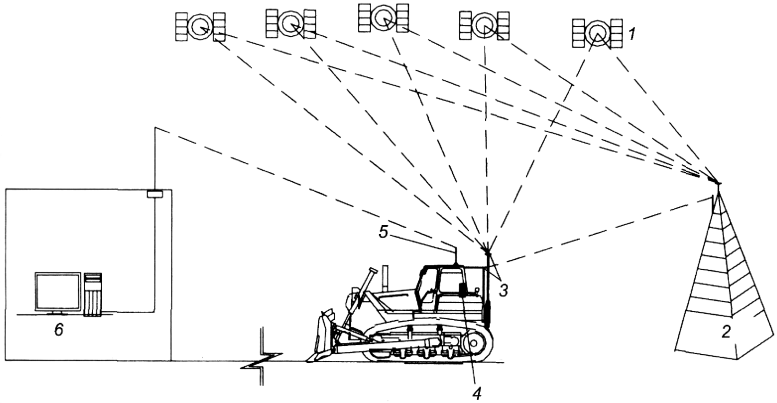


Рисунок 9.8 – Схема управления бульдозером с использованием GPS:
1 – спутниковый комплекс; 2 – базовая станция – дифференциал DGPS; 3 – антенна GPS;
4 – приемник сигналов GPS; 5 – устройство передачи информации;
6 – компьютер текущего контроля

При работе системы блок управления в машине непрерывно сравнивает ее фактические координаты (от мобильного ресивера) с заданными проектными параметрами (планом, продольным и поперечным профилями и др.), введенными в его память перед началом работ. При расхождении текущих параметров с заданными вырабатывается сигнал, который после усиления поступает в электрогидрораспределители, управляющие гидроцилиндрами отвала бульдозера. В свою очередь, гидроцилиндры меняют положение отвала до тех пор, пока текущие координаты рабочего органа не будут совпадать с проектными.

9.2 Автоматизация бульдозеров

Для автоматизации работы бульдозера используют две принципиально различные системы стабилизации положения рабочего органа: автономную *бескопирную*, где в качестве сигнала используют импульсы маятникового датчика (типа ДКБ), и *копирную*, в которой используют внешние направляющие.

Автономная (бескопирная) система автоматического управления рабочим органом бульдозера (типа «Автоплан-10») представлена на рисунке 9.9. Она

содержит следующие элементы: блок управления 5 и блок перегрузки 4, пульт управления 3, маятниковый датчик углового положения отвала 2, датчик числа оборотов двигателя (тахогенератор) 1, реверсивные гидрораспределители с электроуправлением 7, аккумуляторные батареи 6, обратный клапан с дросселем 11, агрегаты и приборы гидросистемы, а также трубопроводы (дренажный 8, сливной 9, питающий 10 и напорный 12). Пульт, блоки управления и перегрузки установлены в кабине машиниста. Маятниковый датчик 2 расположен на одном из толкающих брусьев. Он подает электрический сигнал в блок управления и представляет собой маятник, соединенный с подвижным контактом потенциометра.

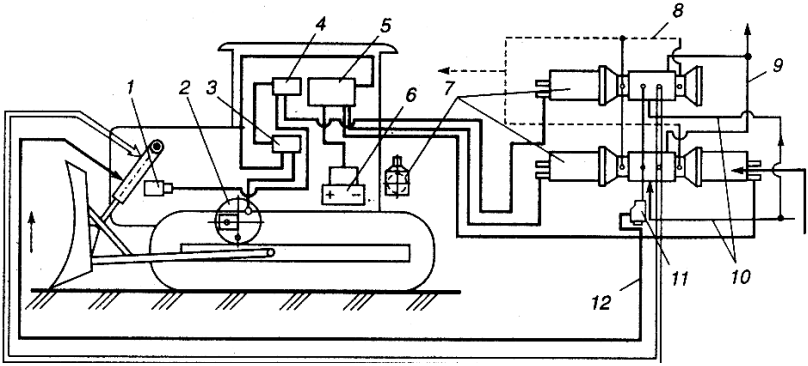


Рисунок 9.9 – Электрогидравлическая схема системы типа «Автоплан-10» на бульдозере:
1 – тахогенератор; 2 – датчик углового положения отвала; 3 – пульт управления; 4 – блок перегрузки; 5 – блок управления; 6 – аккумуляторная батарея; 7 – электрогидрораспределители; 8 – дренажный трубопровод; 9 – сливной трубопровод; 10 – питающий трубопровод; 11 – обратный клапан; 12 – напорный трубопровод

Управление работой бульдозера осуществляют следующим образом. В зависимости от уклона обрабатываемой поверхности на пульте управления бульдозера оператор задает необходимый угол наклона толкающего бруса, который соответствует заданному положению режущей кромки ножа отвала относительно опорной поверхности гусениц. При работе гусеницы встречаются с неровностями площадки, из-за чего угол наклона толкающих брусьев может измениться (как по горизонтали, так и по вертикали). В этом случае маятниковый датчик (типа ДКБ) посылает в блок управления электрический сигнал – импульс тока об изменении угла наклона толкающего бруса. Блок управления сравнивает полученный импульс с заданным пультом управления (который соответствует требуемому положению отвала) и вырабатывает управляющий сигнал. В свою очередь управляющий сигнал после усиления поступает в электрогидрораспределитель 7, что вызывает перемещение его золотника и подачу рабочей жидкости в соответствующую

полость рабочего гидроцилиндра. При этом шток гидроцилиндра перемещается, устанавливая отвал бульдозера в заданное для работы положение. Это перемещение продолжается до тех пор, пока сигнал, поступающий от датчика положения толкающего бруса, не станет равным заданному сигналу с пульта управления. При этом золотник гидроэлектрораспределителя занимает нейтральное положение, обе полости гидроцилиндра оказываются запертыми, а его шток – неподвижным.

Скорость изменения положения отвала регулирует обратный клапан с дросселем, который рассчитан на давление 10 МПа и защищает систему от перегрузки. Гидропривод автоматической системы управления работает от шестеренного насоса, установленного на бульдозере. Однако описанная система стабилизации положения отвала обеспечивает надежность работы только при постоянной частоте вращения двигателя бульдозера. При снижении частоты вращения, возникающем с увеличением усилий на отвале, механизм контроля системы отключает автомат стабилизации, подавая сигнал на выглубление отвала. После восстановления частоты вращения двигателя до нормальной, контролируемой тахогенератором, вновь включается автомат стабилизации положения отвала, который принимает прежнее заданное положение.

Копирная система (типа «Копир-Автоплан») позволяет контролировать положение рабочего органа бульдозера по внешним жестким направляющим (тросу, бордюру и др.). Ее отличием от бескопирной системы является установка щупового датчика (типа ДЩБ) взамен маятникового.

Наиболее совершенной системой автоматического управления бульдозеров является устройство с лазерным контролем (типа «Комбиплан-10ЛП»), представленное на рисунке 9.10.

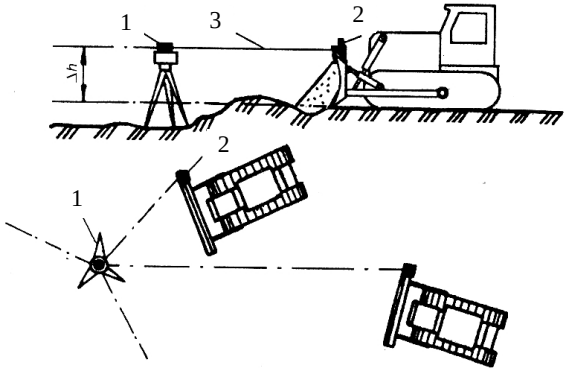


Рисунок 9.10 – Система лазерного контроля планирования поверхности грунта бульдозером:

1 – лазерный нивелир-излучатель; 2 – приемник; 3 – лазерная плоскость

Оно позволяет управлять положением отвала в продольной и поперечной плоскостях, а также защищать двигатель от перегрузок. Система содержит лазерный излучатель 1 (на площадке) и фотоприемное устройство (ФПУ) 2 (на отвале бульдозера), которое контролирует положение отвала относительно луча лазера. Начальную глубину резания задает машинист из кабины установкой ФПУ на требуемую высоту *H*. Отклонение положения ФПУ от заданного (например, при проходе машины по неровностям) вызывает сигнал ΔH , который в виде импульса тока попадает в блок управления и воздействует на механизм перемещения ФПУ, который восстанавливает требуемое положение рабочего органа бульдозера на эту же величину. Достоинством данной системы является возможность управления работой нескольких бульдозеров на значительных расстояниях и на больших площадях, используя только один лазерный нивелир. Кроме того, точность планировки грунта по лучу лазера значительно превосходит другие системы и составляет ±30мм.

9.3 Автоматизация автогрейдеров

Для автоматического управления работой автогрейдера также используют копирную и бескопирную системы стабилизации положения рабочего органа.

Комплекты аппаратуры копирной системы типа «Профиль» обеспечивают дистанционное управление отвалом, а также автоматическую стабилизацию углового положения отвала в поперечной плоскости и по высоте. Работа этой системы ведется с использованием жестких направляющих (копирного троса). На рисунке 9.11 приведена схема автогрейдера, оснащенного системой «Профиль-20». Она состоит из пульта управления, датчиков углового положения ДКБ и высотного положения ДЩБ, сравнивающего и усиливающего устройств и реверсивного гидрораспределителя с электроуправлением.

Для стабилизации положения отвала 1 в поперечной плоскости применяют маятниковый датчик 2, установленный на тяговой раме. Стабилизация высотного положения отвала в профильной плоскости и движения автогрейдера по курсу осуществляется при совместном действии щуповых датчиков (соответственно 4 и 5), установленных на отвале и выносной штанге, и копирного троса 6. Одновременно в сочетании с датчиком 4 работает датчик угла поворота 3, который контролирует положение колес автогрейдера.

При стабилизации отвала в продольной плоскости положение копирного троса должно соответствовать заданному профилю, а управляемым параметром в случае контроля выдерживания курса автогрейдера является расстояние *S* от оси машины до копирного троса. Сигналы датчиков поступают в блок управления, где сравниваются с заданными, затем преобразуются в управляющие сигналы, поступающие на электромагнитные катушки гидрораспределителей, и отрабатываются гидроцилиндрами.

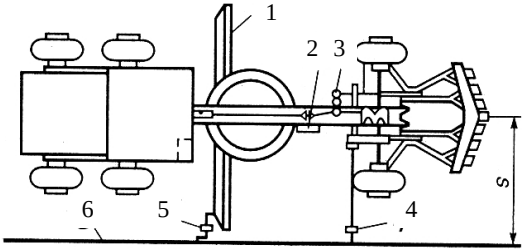


Рисунок 9.11 – Автогрейдер с системой «Профиль-20»:
1 – отвал; 2 – датчик ДКБ; 3 – датчик угла поворота; 4, 5 – датчики ДЩБ; 6 – копирный трос

В комплект бескопирной системы (например, немецкой «GS-506 MOBA Nivellirsystem») также входят пульт управления, контроллер (блок управления), датчики поворота, продольного и поперечного уклонов рабочего органа, гидрораспределители с электромагнитным управлением, но для контроля высотного положения отвала применяют ультразвуковой датчик или фотоприемник, работающий совместно с лазерным нивелиром (рисунок 9.12). Принципы работы бескопирной и копирной систем одинаковы.

При использовании ультразвукового датчика происходит непрерывное сканирование контрольной поверхности, в качестве которой может быть уже спрофилированное основание, покрытие, бортовой камень или копирный трос. Принцип действия датчика заключается в согласованной работе шести самостоятельных ультразвуковых элементов. Пять элементов сканируют контрольную поверхность, а шестой – постоянно ведет мониторинг состояния воздушного пространства непосредственно под прибором, в зоне действия ультразвуковых лучей первых пяти элементов. Этот элемент сигнализирует контроллеру системы о превышении допустимого порога засоренности воздуха (например, большом количестве пыли) и возможности передачи искаженной информации.

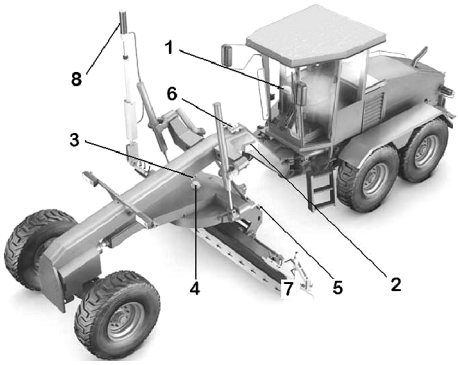


Рисунок 9.12 – Система автоматического управления отвалом автогрейдера:

1 – пульт управления; 2 – контроллер; 3 – датчик продольного уклона; 4 – датчик угла поворота отвала; 5 – датчик поперечного уклона; 6 – гидрораспределитель с электромагнитным управлением; 7 – ультразвуковой датчик высоты отвала; 8 – фотоприемник

Лазерный нивелир используют для управления высотным положением отвала автогрейдера так же, как и отвала бульдозера.

9.4 Автоматизация скреперов

При разработке грунта скреперами для их управления используют аппаратуру типа «Копир-Стабилоплан-10Л», оснащенную лазерным устройством, которая обеспечивает точную планировку под заданные отметки и получение различных уклонов поверхности при резании грунта. В состав аппаратуры (рисунок 9.13) входят электрогидрораспределитель 1, пульт с блоком управления 2, фотоприемное устройство 3 и датчик углового положения рамы скрепера 4.

В этой системе автоматическая стабилизация положения ножей скрепера также осуществляется в двух вариантах: с помощью датчика углового положения 4 (ДКБ) или по лучу лазера (от лазерного нивелира 7).

Датчик (ДКБ) устанавливают на балке рамы скрепера. Он предназначен для преобразования перемещения собственного корпуса относительно вертикали в электрический сигнал, передаваемый после усиления и замера рассогласования на исполнительный механизм, т.е. на гидроцилиндры.

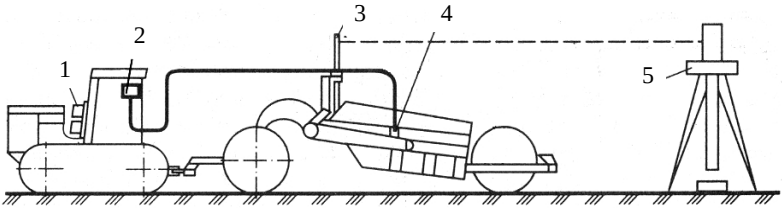


Рисунок 9.13 – Система автоматического управления работой скрепера:
1 – электрогидрораспределитель; 2 – пульт с блоком управления; 3 – фотоприемное устройство; 4 – датчик углового положения рамы ковша скрепера; 5 – лазерный нивелир

В копирном режиме управления система также обеспечивает непрерывную стабилизацию положения ножей скрепера по высоте. Работа этой системы не отличается от работы лазерного оборудования бульдозера и осуществляется с помощью фотоприемного устройства 3. Его устанавливают в передней части ковша для контроля положения его режущей кромки относительно лазерной плоскости, получаемой с помощью нивелира 5.

Стабилизация тягового усилия может осуществляться автоматически. Схема этого варианта стабилизации представлена на рисунке 9.14 (на примере прицепного скрепера). Она включает датчик тягового усилия I, регулятор II и привод управления III. Объектом регулирования является рабочий орган

машины – ковш. Его положение определяет значение независимого параметра регулирования – толщины срезаемой стружки грунта, от которого зависит величина нагрузки и, как следствие, – тяговое усилие. При работе скрепера тяговое усилие при помощи гидравлического динамометра 1 преобразуется в перемещение штока мерного гидроцилиндра 2, который через зубчато-реечную передачу 3 вращает вал переключателя 4. Если сопротивление грунта соответствует тяговому усилию скрепера, переключатель расположен в нейтральном положении (как показано на схеме). С увеличением или снижением нагрузки на ковш переключатель замыкает один из неподвижных контактов 5, в результате чего срабатывает одно из двух реле 9, воздействующее на соответствующий электромагнит 6. Электромагнит, в свою очередь, перемещает золотник гидрораспределителя 7 вверх или вниз и включает гидроцилиндр 8, который выглубляет или заглубляет ковш.

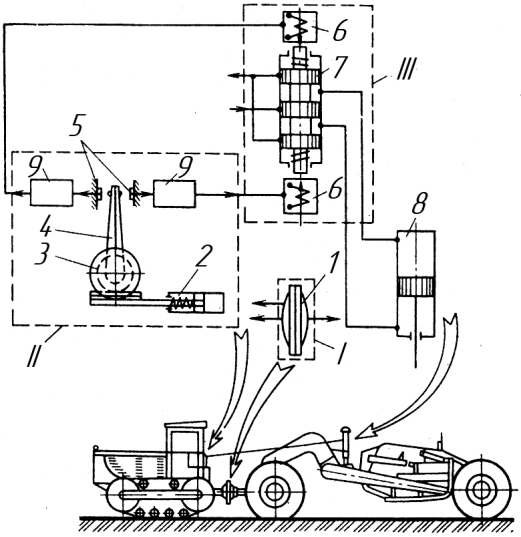


Рисунок 9.14 – Схема стабилизации тягового усилия скрепера:
I – датчик тягового усилия, II – регулятор, III – привод управления;
1 – гидравлический динамометр; 2 – мерный гидроцилиндр; 3 – зубчато-реечная передача;
4 – переключатель; 5 – неподвижной контакт; 6 – электромагниты; 7 – золотник гидрораспределителя; 8 – гидроцилиндр; 9 – реле

9.5 Автоматизация асфальтоукладчиков

Применение систем автоматического нивелирования на асфальтоукладчиках обеспечивает получение ровного слоя покрытия в продольном направлении с заданным углом поперечного уклона, повышает качество и увеличивает производительность укладки покрытия, а также облегчает условия труда машинистов. В настоящее время такими системами оборудо-

ваны все современные асфальтоукладчики ведущих производителей дорожной техники.

Комплект аппаратуры, как правило, состоит из датчиков продольного и поперечного уклонов, блока управления с выносным пультом, гидрораспределителей с электромагнитным управлением и гидроцилиндров управления рабочей плитой асфальтоукладчика (рисунок 9.15). В качестве базы системы используют копирный трос, бордюрный камень или поверхность ранее уложенного покрытия.

При движении асфальтоукладчика по основанию из-за неровностей могут возникнуть перекосы его корпуса в продольном и поперечном направлениях, которые сопровождаются изменением положения рабочей плиты. Эти изменения воспринимают чувствительные элементы датчиков продольного уклона 8 и поперечного уклона 2.

Продольный уклон задается с помощью натянутого копирного троса 5 или определяется уклоном базовой поверхности, по которой скользит датчик с короткой 3 или длинной 4 лыжей. Датчик 8 закреплен на поворотном кронштейне 6, вертикальная стойка которого регулируется по высоте так, чтобы обеспечить эффективную работу датчика продольного уклона при различных уровнях базовой поверхности. Настройка датчика 8 на заданный уклон соответствует отклонению его чувствительного элемента по отношению к тросу или лыже на 45^0.

Поперечный уклон задается дистанционно с помощью пульта 17 настройки.

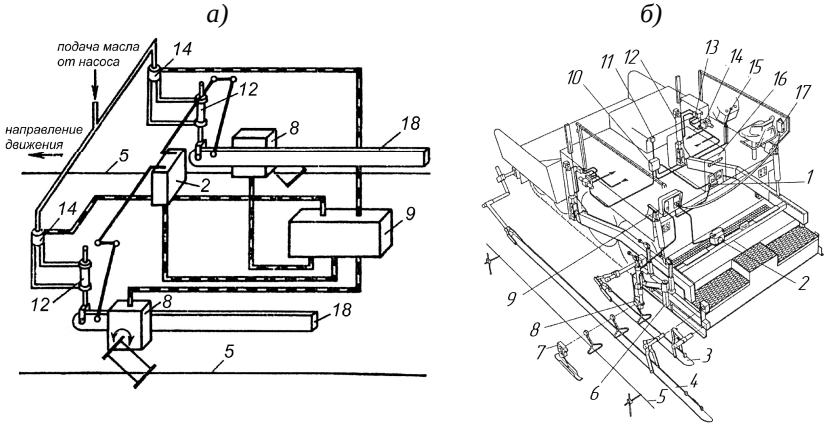


Рисунок 9.15 – Система автоматического управления рабочим органом асфальтоукладчика:

а – принципиальная схема, *б* – размещение на асфальтоукладчике;
1 – электрический разъем; 2 – датчик поперечного уклона; 3, 4 – лыжи длиной соответственно 2 и 8 м; 5 – копирный трос; 6 – поворотный кронштейн; 7, 8 – датчик продольного уклона с лыжей; 9 – блок управления; 10 – распределительная коробка; 11 – предохранители; 12 – гидроцилиндр; 13 – гидрозамок; 14 – гидрораспределитель с электромагнитным

управлением; 15 – переключатель режима работы (ручной автоматический); 16 – манометр; 17– выносной пульт дистанционной настройки датчика поперечного уклона; 18 – правый и левый продольные брусья рамы рабочей плиты

При отклонении действительного профиля укладываемого покрытия от заданного срабатывает датчик 8 или 2. Полученный электрический сигнал от датчика поступает на блок 9 управления, который сравнивает его с заданным сигналом, вырабатывает управляющий сигнал и подает команду через распределительную коробку 10 на гидрораспределители 14. Гидрораспределители 14 подают рабочую жидкость в гидроцилиндры 12, поднимая или опуская рабочую плиту в соответствии с заданным профилем покрытия. Скорость движения гидроцилиндров пропорциональна отклонению действительного профиля от заданного.

Если из-за большой ширины укладки датчик поперечного уклона не обеспечивает требуемой точности, тогда используют два копира (см. рисунок 9.15, *а*). В этом случае с обеих сторон рамы рабочей плиты устанавливают два датчика продольного уклона типа ДЩБ, а поперечный уклон задают за счет различной высоты разных сторон рабочей плиты.

9.6 Автоматизация асфальтосмесительных установок

Управление асфальтосмесительной установкой представляет собой ответственный и трудоемкий процесс, требующий от оператора участия в контроле, регулировании, анализе информации и диагностике следующих основных операций:

1) предварительного дозирования и подачи в сушильный агрегат минеральных материалов;

2) просушивания и нагрева до рабочей температуры минеральных материалов;

3) сортировки минеральных материалов;

4) взвешивания минеральных материалов и минерального порошка;

5) дозировки битума;

6) подачи в смеситель отдозированных минеральных компонентов и вяжущего;

7) перемешивания асфальтобетонной смеси;

8) выдачи смеси в скип или транспортное средство;

9) загрузки смеси в бункер-накопитель.

Таким образом, оператору необходимо выполнить около десяти операций за один цикл перемешивания. При средней производительности в 60 циклов перемешивания в час получается 600 операций, что указывает на необходимость автоматизации процесса управления асфальтосмесителем, облегчающей не только условия труда оператора, но и повышающей точность дозирования компонентов, т.е. качество выпускаемой смеси.

На основании вышеизложенного система управления асфальтосмесительной установкой должна обеспечивать:

1) бесперебойную автоматизированную работу всех узлов и агрегатов в

абразивной и агрессивной средах, а также в условиях вибрации;

2) последовательное автоматическое дозирование отдельных фракций минеральных материалов и вяжущих материалов по заданному рецепту;

3) возможность быстрого приготовления асфальтобетонных смесей по любому заданному рецепту;

4) соблюдение продолжительности перемешивания согласно технологическому регламенту;

5) автоматическую выдачу заданного количества готовой асфальтобетонной смеси;

6) блокировку механизмов в случае неисправности отдельных агрегатов;

7) возможность дистанционного контроля и управления работой всех механизмов смесителя с центрального пульта управления;

8) переход с автоматического управления на ручной режим и обратно.

Ранее применяли две типовые схемы автоматизации асфальтосмесительных установок на основе использования электромагнитных реле: *электропневматическую* и *электромеханическую*.

В *электропневматической схеме* в качестве исполнительных механизмов использовали пневмоцилиндры, управляемые электропневмораспределителями, а в качестве датчиков положения – бесконтактные емкостные датчики, требующие включения в схему усилителей.

В *электромеханической схеме* применяли электромеханические приводы и ртутные выключатели, работающие без усилителей.

В современных асфальтосмесительных установках используют *микропроцессорные системы управления*, которые позволяют в непрерывном режиме контролировать весь технологический процесс приготовления смесей, оперативно управлять технологическими режимами, а также быстро переходить на выпуск смесей по любой, заранее заданной рецептуре.

В микропроцессорной системе, в отличие от релейной, отсутствуют пульт управления, шкаф промежуточных реле, дистанционная весовая головка и командный аппарат регулирования технологического режима. Их заменяет контроллер, выполняющий функции управления, регулирования, защиты, подачи предупредительной и аварийной сигнализации, а также диагностики. Система управления построена по классической централизованной схеме: все данные с дискретных и аналоговых датчиков (температуры; тензометрических преобразователей для измерения массы минеральных материалов в весовом дозаторе; индукционных датчиков частоты вращения насосов, сушильного барабана и т. д.) подводятся к контроллеру, который обрабатывает их и осуществляет управление в соответствии с выбранным режимом работы и введенными в него параметрами с панели оператора.

Панель оператора представляет собой промышленный компьютер, физически соединенный с контроллером через последовательный порт. В компьютере установлена программа, позволяющая в реальном времени нагляд-

но (в виде технологических схем) отражать процессы, происходящие при приготовлении асфальтобетонной смеси (рисунок 9.16). Кроме того, программа позволяет изменять режимы работы узлов и агрегатов асфальтосмесителя (например, регулировать частоту вращения насоса подачи битума, изменяя его производительность, или изменять температуру пламени горелки сушильного агрегата, изменяя температуру минеральных материалов). По предварительно введенным в программу рецептурам оператор в течение минимального времени может изменять марку и тип выпускаемой смеси. Управляющие воздействия оператора вводятся с клавиатуры.

Контроллер и блоки реле-повторителей смонтированы в едином шкафу управления, который расположен в кабине оператора. Для проведения пусконаладочных, поверочных и ремонтных работ каждый агрегат асфальтосмесителя имеет местный щит управления. Переключение агрегата на местное управление или его отключение производится с панели оператора.

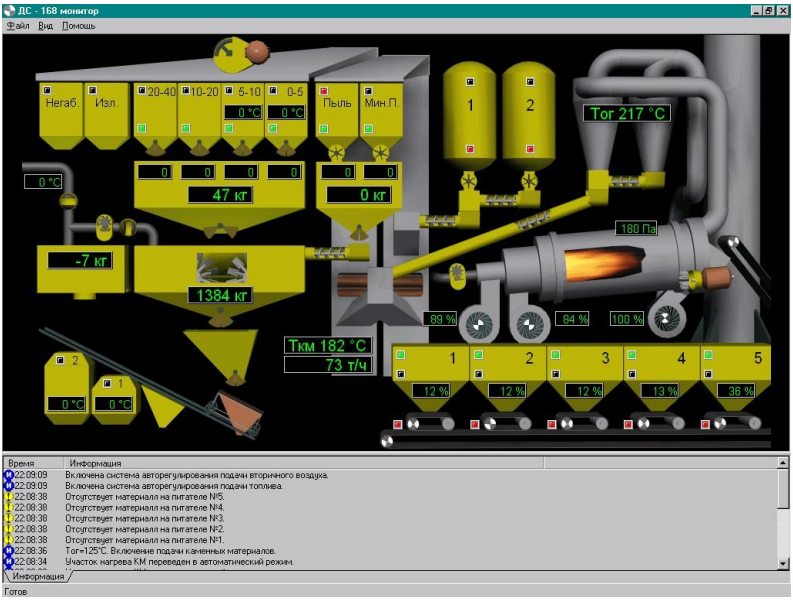


Рисунок 9.16 – Мониторинг технологического процесса приготовления асфальтобетонной смеси

Отключить механизм можно также с местного щита управления, на котором, кроме органов управления, расположены контрольные приборы, позволяющие следить за работой агрегата. Благодаря применению в контроллере многофункциональной операционной системы процесс управления разбит на отдельные задачи: управление, регулирование, пуск/останов, сигнализация, защита, диагностика, подготовка отчетов. При необходимо-

сти задачи, выполняемые контроллером, можно расширить, что не сказывается на работающей программе и позволяет учесть изменение условий эксплуатации и возможности модернизации установки.

10 РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

При выборе машины для дорожно-строительных и ремонтно-восстановительных работ, разработке новой или модернизации серийной конструкции, определении конкурентоспособности машины необходимо знать ее технический уровень. Он характеризуется широким спектром свойств, которые обусловливают ее пригодность удовлетворять требованиям потребителя. К числу основных требований относятся обеспечение предельно возможной производительности и высокого качества работ при минимальной стоимости единицы продукции, сокращение трудо-, энерго– и материальных затрат при достижении заданного уровня экологической безопасности дорожно-строительных работ и обеспечении надежной эксплуатации дорог. Реализация столь высоких требований, предъявляемых к машинам современными технологиями строительства и эксплуатации дорог, возможна только на основе достижений в области материаловедения и технологии металлов, автоматизации и компьютеризации проектирования, изготовления и эксплуатации дорожно-строительной техники.

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 обслу-

живаний, текущих и капитальных ремонтов для поддержания работоспособности;

– списание машины и ее утилизацию.

Обеспечение высокой работоспособности машин в условиях возрастающих требований к продукции машиностроения основано на снижении трудо-, энерго- и материальных затрат при создании и функционировании машин. При этом проблема ресурсосбережения тесно связана с экологической безопасностью новой техники, современные требования к которой заставляют пересмотреть традиционные методы проектирования, производства, эксплуатации и утилизации машин.

В первой части пособия [17] показаны особенности «конструирования для экологии» (*Design for the Environment*) в рамках концепции полного жизненного цикла (ПЖЦ). Напомним, что в ее основе лежит экологическая безопасность как приоритетное звено взаимосвязи всех этапов ПЖЦ машин, включая их утилизацию. Поэтому уже на этапе проектирования машин следует планировать мероприятия (материаловедческие, конструкторские, технологические и эксплуатационные) для обеспечения как экологической безопасности, так и энергосбережения.

В области материалов целесообразно использовать:

1) конструкционные, триботехнические и коррозионностойкие материалы со стабильными эксплуатационными характеристиками;

2) материалы, которые не требуют дополнительной обработки (доводки) поверхности деталей;

3) рециклируемые и рециклированные сплавы и композиты;

4) легкие материалы с высокими показателями удельной прочности и жесткости, в том числе высокопрочные и высокомодульные композиты и сплавы на основе наноструктурных компонентов;

5) адаптивные системы, способные приспосабливаться к условиям эксплуатации машин.

В области конструкций:

1) выбирать оптимальные конструктивные решения с учетом свойств материалов, технологий изготовления из них деталей и конструкций, а также условий их эксплуатации;

2) совершенствовать системы управления 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) оснащать машины энергосберегающими системами, обеспечивающими существенное снижение потерь энергии и экономию топлива, в том числе рекуперативными приводами рабочего оборудования;

4) разрабатывать конструкции, обеспечивающие при утилизации машины простое и удобное разделение различных по природе материалов;

5) разрабатывать узлы со встроенными диагностическими устройствами с выводом данных о месте и характере неисправности на приборную панель или на дисплей бортового компьютера.

При изготовлении:

1) совершенствовать технологические процессы изготовления деталей с целью минимизации образования отходов и их повторного использования (в том же производственном цикле);

2) максимально унифицировать элементы конструкций, расширять применение стандартных узлов и деталей, развивать принципы агрегатирования и блочно-модульной компоновки основных узлов и механизмов машин, упрощающие их обслуживание и ремонт;

3) предусматривать возможность создания производных машин с максимальным использованием конструктивных элементов базовой машины.

При эксплуатации:

1) руководствоваться требованиями отечественных и международных стандартов по безопасности эксплуатации машин, охране труда и окружающей среды, включая рекомендации интегрированной системы менеджмента;

2) активно внедрять методы контроля местоположения и управления рабочим циклом машин с применением спутниковых систем;

3) устранять капитальные ремонты и заменять восстановительные ремонты комплектацией машин сменными узлами;

4) упрощать обслуживание машин, конструируя механизмы в виде самообслуживающихся агрегатов.

В условиях рыночной экономики продукция отечественного машиностроения должна соответствовать мировому уровню или превосходить его. В качестве примера конкурентной борьбы за рынок показательной является информация о таких универсальных дорожно-строительных машинах как одноковшовые экскаваторы. В таблице 10.1 представлены характеристики гидравлических экскаваторов ведущих производителей Европы, Азии и США. Их основные параметры (масса и габаритные размеры экскаватора, мощность двигателя, вместимость ковша и параметры рабочей зоны, характеристики гидросистемы, а также механизмов хода и поворота) имеют очень высокие показатели и незначительно отличаются друг от друга. При этом машины обладают высоким уровнем экономичности, эргономичности и экологической безопасности. Практически все они снабжены энергосберегающими системами электронного управления, автоматически обеспечивающими оптимальное использование мощности двигателя для различных режимов земляных работ, т. е. высокий уровень основных технических характеристик имеют все приведенные машины.

Как видно из таблицы 10.1, машины ведущих производителей имеют незначительные отклонения технических характеристик, т.е. этой информации недостаточно для выявления достоинств той или иной машины. Поэтому выбор потребителем наиболее выгодной модели, в том числе одноковшового экскаватора, должен базироваться на учете экономических факторов, в числе которых *удельные приведенные затраты на разработку грунта, стоимость машино-смены, стоимость топлива, расходуемого за смену.*

Помимо этого, большое значение имеют удельные технические и эксплуатационные показатели:

– *удельная материалоемкость* ($m/П_э$) и *удельная энергоемкость* ($N/П_э$), а также обратные этим характеристикам показатели:

– *удельная производительность на единицу массы* ($П_э/m$) и *на единицу мощности* ($П_э/N$), где m – масса машины; N – мощность силовой установки; $П_э$ – суточная эксплуатационная производительность.

Приведенные показатели характеризуют технико-экономические параметры машин. Наряду с ними целесообразно использовать комплексные показатели надежности, которые отражают возможности ресурсосбережения при эксплуатации машины. К ним относятся коэффициенты технического использования и готовности.

Коэффициент технического использования $k_{ти}$ статистически определяют отношением суммарного времени пребывания машин в работоспособном состоянии к суммарному времени их эксплуатации, включающем периоды наработки и периоды простоев:

$$k_{ти} = \frac{t_н}{t_н + t_р + t_{то} + t_в}, \qquad (10.1)$$

где $t_н$ – суммарная наработка (пребывание в работоспособном состоянии) всех машин, ч;

$t_р$ – суммарное время простоев при проведении плановых и внеплановых ремонтов всех машин, ч;

$t_{то}$ – суммарное время простоев при проведении всех видов технического обслуживания машин, ч;

$t_в$ – суммарное время восстановления работоспособности машин, ч.

Коэффициент готовности $k_г$ характеризует вероятность того, что машина окажется работоспособной в произвольный момент времени, кроме периодов выполнения планового технического обслуживания. Статистически $k_г$ определяют отношением времени безотказной работы к сумме времени безотказной работы и времени простоя (за исключением периодов времени плановых ремонтов и технического обслуживания):

$$k_г = \frac{T_о}{T_о + T_в}, \qquad (10.2)$$

где $T_о$ – среднее время безотказной работы (наработка на отказ), ч;

$T_в$ – среднее время восстановления, ч.

Из выражений (10.1) и (10.2) следует, что чем меньше среднее время восстановления и суммарные простои, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом, тем выше показатели этих коэффициентов, а следовательно, выше эффективность использования машины при эксплуатации.

Перспективные конструкции, материалы и технологии их изготовления позволяют комплексно решать задачи ресурсосбережения и экологической безопасности.

10.1 Адаптивные материалы

Таблица 10.1 – **Основные параметры гидравлических одноковшовых экскаваторов***

Параметр	АО «КЭЗ», ЭО-4225А	ATLAS, 1704LC	CASE POCLAIN, 1288LC	CATERPILLAR, 325GM	DAEWOO, SOLAR 280LC	KOBELCO, SK300	KOMATSU, PC300	SAMSUNG, SE280	HITACHI, EH-270.3	HYUNDAI, ROBEX 290	KATO, HD 1250
Масса экскаватора, т	26,45	24,2	26,2	25,8	28,0	29,2	30,7	26,6	26,0	27,0	29,5
Мощность двигателя, кВт	125,0	125,0	127,6	125,1	141,0	169,0	154,0	132,5	122,0	145,0	161,9
Рабочее давление, МПа	28,0	32,0	35,0	32,0	30,0	30,0	32,5	32,0	28,5	32,0	28,5
Максимальная подача насоса, л/мин	400	630	585	420	500	630	500	520	524	514	582
Максимальное усилие резания, кН	149,0	172,0	184,5	149,0	174,3	201,0	175,3	166,0	154,9	167,0	173,0
Тяговое усилие, кН	210	200	197	216	263	270	234	240	214	267	197
Давление на грунт, МПа	0,054	0,050	0,053	0,049	0,054	0,061	0,065	0,056	0,054	0,056	0,061
Скорость передвижения, км/ч	3,6	4,5	4	4,6	5,0	5,5	5,5	4,4	4,0	4,6	5,5
Частота вращения поворотной платформы, $мин^{-1}$	9,1	9,0	12,1	10,3	12,1	10,5	10,0	9,7	12,0	10,2	10,0
Вместимость ковша, $м^3$	1,1	1,0	1,24	1,0	1,1	1,2	1,2	1,1	0,9	1,1	1,2
Глубина копания, м	6,0	6,95	6,4	6,9	6,67	6,79	6,7	7,0	6,54	7,04	6,71
Радиус копания, м	9,30	10,15	9,9	10,19	10,2	10,6	10,55	10,22	10,06	10,36	10,59
Высота выгрузки, м	5,15	6,35	6,5	6,54	6,7	6,95	6,89	6,78	6,67	6,95	7,11
Задний радиус, мм	3280	2750	2900	3050	3200	3200	3225	2970	3010	3150	3460
База, мм	3700	3720	3750	3795	4010	3705	3640	3620	3710	3710	3710
Габаритные размеры, мм:											
длина	10250	9450	10000	10270	10740	10850	10855	10420	10450	10630	11150
ширина	3000	3000	3170	3050	3190	3200	3190	3190	3000	3200	3200
высота	3290	3000	3500	3190	3280	3200	3425	3340	3170	3320	3200

* Четвертая размерная группа, гусеничный ход, рабочее оборудование – обратная лопата.

и интеллектуальные агрегаты

Термины «адаптивный» (от англ. *to adapt* – приспосабливаться) и «интеллектуальный» стали очень популярными в различных областях: в материаловедении – адаптивные материалы и интеллектуальные композиты, в конструкциях машин – интеллектуальные агрегаты и адаптерные системы для быстрой смены рабочего оборудования, в приводах машин – интеллектуальная гидравлика и интеллектуальная электроника, в технологии – интеллектуальное управление рабочим процессом, интеллектуальное уплотнение и т.п.

Адаптивными (адаптирующимися, интеллектуальными, умными) называют материалы, которые обладают способностью самопроизвольно приспосабливаться (адаптироваться) к воздействиям внешней среды.

По существу адаптивные материалы (АМ) – это системы, способные оценивать внешние воздействия и реагировать на них.

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. Характерным признаком этих материалов является появление сигнала датчика о возникших в материале изменениях при внешних воздействиях. Наибольшее развитие получили волоконно-оптические датчики, которые идеально подходят к структуре и технологии получения полимерных волокнистых композитов. Они представляют собой кремниевые волокна, заключенные в защитную оболочку. Эти волокна вводят в композит на стадии его формования, а затем уже в готовом изделии через волокна пропускают световой сигнал и регистрируют изменения его оптических характеристик (амплитуды, фазы и др.) под влиянием изменений, происходящих в окружающем оптическое волокно материале. Любые деформации и напряжения в композите вызывают соответствующие колебания характеристик светового сигнала. Поэтому оптические волокна, введенные в полимерный композит, могут отслеживать при эксплуатации вибрации и деформации, разрушения и износ материала.

Материалы второй группы (*реактивные*) представляют собой АМ, которые самопроизвольно реагируют на внешние механические, термические, физические и другие воздействия, изменяя собственные структуру и характеристики (геометрические, механические, физические и др.) или свойства сопряженных материалов.

Реактивные материалы и конструкции имеют различные типы реагирования на изменения окружающей среды. К самым простым системам можно отнести конструкции рабочих органов машин для земляных работ, которые изменяют свою структуру или форму при механических воздействиях. К ним относятся самозатачивающиеся зубья, ножи и режущие кромки элементов рабочего оборудования. Они имеют двухслойную структуру из разнородных материалов, отличающихся различной износостойкостью. При контакте с грунтом материал нижнего слоя изнашивается быстрее материала верхнего слоя, что обеспечивает постоянную острую кромку режущего элемента при эксплуатации. К этой же категории можно отнести отвалы и ковши с изменяемой формой. В зависимости от категории трудности разработки грунта они могут изменять свою форму благодаря демпферам (механическим или гидравлическим), обеспечивая оптимальную энергоемкость процесса резания или копания грунта.

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, целесообразно использовать в таких областях техники, где другие материалы применить невозможно. Например, их используют как материалы для самораскрепляющихся 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

Группу реактивных материалов дополняют материалы, изменяющие свои физические характеристики при внешнем воздействии. Имеется ряд материалов, которые при механических воздействиях генерируют различные поля – электрические, магнитные, акустические и др. Это явление, известное как эмиссия, используют для оценки дефектности структуры и прочностных свойств материалов. Регистрируя характеристики сигналов этих полей, можно определить предельные нагрузки и ресурс работы изде-

лий из анализируемых материалов в условиях статических и динамических нагрузок.

Различают физически и химически активируемые материалы. К физически активируемым относятся следующие материалы:

– *электрическиактивируемые* (пьезоэлектрические);

– *магнитноактивируемые* (магнитореологические жидкости и магнитострикционные вещества).

Из *электрическиактивируемых* (пьезоэлектрических) материалов наиболее распространены поликристаллические керамические и полимерные материалы. Напомним, что пьезоэлектрическим эффектом называют способность некоторых материалов создавать электрическое поле в ответ на прилагаемое механическое усилие. Пьезоэлектрические материалы используют в датчиках различных физических величин (сил, давлений, ускорений, ударов), а также в ультразвуковых, сейсмических и других датчиках.

К *магнитноактивируемым* материалам относятся магнитореологические жидкости. Их вязкость резко увеличивается при наложении магнитного поля и мгновенно (в течение 6,5 мс) возвращается в исходное состояние после снятия поля. Типичная магнитореологическая жидкость представляет собой суспензию микрочастиц (размером 3–8 мкм) ферромагнетиков в жидкости (минеральном или синтетическом масле, воде и др.). Такие жидкости находят все более широкое применение в различных демпфирующих системах и устройствах, например, в системах амортизации тяжелых машин, в регулируемых амортизаторах автотранспортных средств и др.

К магнитноактивируемым материалам также относятся *магнитострикционные* вещества, т.е. материалы, способные изменять свою форму при наложении магнитного поля. Эту способность используют в различных датчиках (деформации, положения, движения, силы, давления).

Весьма солидные перспективы имеют *химическиактивируемые* материалы. Одним из направлений их использования является химическая активация полимеров при контакте с жидкостями, вызывающими их контролируемое набухание. В частности, этот эффект был использован в самозатягивающихся топливных баках, которые изготавливают из двух слоев резины: наружный – из вулканизированной резины, а внутренний – из невулканизированной, набухающей при контакте с нефтепродуктами. При этом внутренний слой покрывают топливонепроницаемой пленкой. При нарушении герметичности бака топливо контактирует с невулканизированной резиной, которая набухает и изолирует дефект.

К третьей группе «интеллектуальных» материалов относятся системы, которые обладают способностью не только производить самодиагностику, но и осуществлять самовосстановление. В частности, имеются сведения о разработке конструкционных материалов на основе полимерных композитов, которые, диагностируя наличие повреждений (например, микротрещин)

одним из упомянутых ранее методов, реализуют механизм самовосстановления путем перераспределения материалов. Для залечивания микротрещин пытаются использовать комплексы наночастиц, которые должны обладать достаточной подвижностью, чтобы устранить дефекты структуры.

Примером могут служить самозалечивающиеся полимеры, в объеме которых равномерно распределены микроконтейнеры (микрокапсулы или полые микроволокна) с залечивающим веществом. Как правило, в микроконтейнеры вводят неотвержденный полимер (олигомер). При нарушении сплошности или другом повреждении основного материала микроконтейнеры разрушаются и высвобождают залечивающий олигомер, который проникает в зону повреждения и полимеризуется, устраняя повреждение.

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 (т. е. до образования трещин и других макродефектов), компенсировать влияние 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.

Интеллектуальные агрегаты. В последние годы интенсивно развивается ресурсосберегающее направление развития машин, связанное с их «интеллектуализацией», т.е. с оптимизацией режимов эксплуатации машин за счет гибкого автоматизированного управления параметрами технологического процесса с обратной связью.

Интеллектуальным агрегатом (машиной) называют самонастраивающееся устройство, способное 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. Соответственно, электронная система управления интеллектуального агрегата должна обеспечить:

– контроль состояния среды;

– управление воздействием рабочих органов на среду в зависимости от ее состояния;

– управление параметрами двигателя в зависимости от нагрузки;

– контроль состояния 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 под*системе 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 ремонтопригодность) 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, 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.

Значительный вклад в повышение эффективности эксплуатации вносят методы управления машиной с применением глобальной системы навигации *GPS* (*Global Positioning System*).

Следует обратить особое внимание на проблему безопасности, поскольку в системе «оператор – машина» довольно часто слабым звеном является человеческий фактор. Интеллектуальный 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 ра-

бочими 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», «Dynapac», «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; в-третьих, повышение надежности машины за счет системы контроля параметров агрегатов катка; в-четвертых, увеличение долговечности дорожных покрытий путем 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 по интеллектуальному управлению рабочим процессом получат 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, которые обеспечивают его замену, механическую фиксацию и присоединение необходимых гидролиний для питания различных исполнительных механизмов в автоматизированном режиме. Такое 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 оборудова-

ния 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 быстродействующих устройств 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.

10.2 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 дорожно-строительном машиностроении гибридные приводы (ГП) пока распространены в меньшей степени, что связано с тяжелыми условиями эксплуатации дорожно-строительной техники, в том числе с необходимостью реализации больших тяговых усилий. Их устанавливают, как правило, на машины циклического действия, в частности, на фронтальные одноковшовые погрузчики, одноковшовые экскаваторы и бульдозеры, а также на погрузчики и краны.

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, 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 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». Машины первого поколения были выпущены компанией в 2008 году (модель PC200LC-8 Hybrid), второго поколения – в 2011 году. В конструкции экскаватора второго поколения (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 пе-

ременный 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.

На рисунке 10.1 представлена структурная схема параллельного гибрида и показаны два основных режима его работы:

первый – режим работы мотор-генератора как генератора отражен на структурной схеме сплошной линией: ДВС – М-Г – Тр – АБ – ЭД – ИМ;.

второй – режим работы мотор-генератора как электродвигателя отражен на схеме пунктиром: АБ – Тр – М-Г – ИМ + ДВС – ИМ.

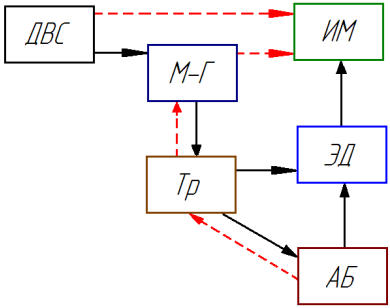


Рисунок 10.1 – Структурная схема ГП с параллельным расположением источников энергии:
ДВС – двигатель внутреннего сгорания;
М – Г – мотор – генератор;
Тр – трансформатор; АБ – аккумуляторная батарея; ЭД – электродвигатель;
ИМ – исполнительный механизм

Одна из главных особенностей ГП – это способность возвращать энергию, которая в традиционных приводах теряется безвозвратно. При замене гидропривода поворота платформы на гибридный вариант (по данным опытных испытаний упомянутых ранее гибридных экскаваторов компании «Komatsu») экономия топлива достигает 30–40 % в зависимости от вида строительных работ по сравнению с традиционными 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 ГП 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.

В качестве примера можно привести гибридный привод «Deutz hibrid drive», установленный на фронтальный погрузчик немецкой фирмы "Atlas Weyhausen". Электрический агрегат включают для обеспечения потребности в пиковой мощности при низких и средних нагрузках. В режиме работы, когда необходима только часть мощности ДВС, аккумулятор заряжается в диапазоне номинальной выходной мощности дизельного двигателя, что способствует оптимизации расхода топлива. В режиме торможения энергия торможения направляется с электроагрегата на аккумулятор.

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 дают следующие цифры (на примере грузовиков компании «Volvo»): напряжение на аккумуляторной батарее составляет 600 В, мощность ЭД – 120 кВт, мощность ДВС – 300 кВт.

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 (планетарного или традиционного типа) 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. Результаты технико-эксплуатационной оценки бульдозера с гибридным приводом хода показывают следующее:

– ДВС работает в достаточно узком диапазоне номинальной частоты вращения коленчатого вала (1450–1650 мин$^{-1}$), что увеличивает ресурс машины в целом и повышает комплексные показатели надежности;

– упрощена система управления бульдозером благодаря эффективному использованию современной микропроцессорной и компьютерной техники для автоматизации рабочего процесса;

– бульдозер имеет высокую удельную производительность: он способен перемещать на 25 % больше грунта на каждый литр израсходованного топлива, чем бульдозер той же мощности с традиционным приводом;

– электрическая силовая установка содержит на 60 % меньше подвижных частей по сравнению с традиционной трансмиссией.

Другим примером неполного гибрида с последовательным расположением источников энергии может служить фронтальный погрузчик корпорации «Volvo» (моделей L220F и L240F). В его приводе использованы ДВС, а также следующие электрические компоненты:

– стартер-генератор;

– аккумуляторная батарея;

– электродвигатель переменного тока;

– электронная система управления.

Основой гибридного агрегата является интегрированный стартер-генератор (*ISG)*, который устанавливают между дизелем и электротрансмиссией и подсоединяют к мощной аккумуляторной батарее. Он обеспечивает запуск дизельного двигателя, выполняя задачу традиционного электрического инерционного стартера. Отметим, что обычный стартер имеет в своём составе электродвигатель, редуктор, устройства сцепления и расцепления коленчатого вала ДВС с маховиком.

Стартер-генератор обеспечивает при необходимости автоматическое отключение дизеля, а затем практически мгновенный перезапуск за счёт батареи. Кроме того, он решает традиционную проблему дизельного двигателя, которая состоит в небольшом крутящем моменте при малой частоте вращения коленчатого вала. Стартер-генератор через электродвигатель увеличивает крутящий момент (до 700 $Н \cdot м$) непосредственно из состояния покоя. Таким образом, генератор выдаёт фронтальному погрузчику дополнительно 50 кВт, что отражается на быстродействии исполнительных механизмов погрузчика.

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.

10.3 Рекуперативные системы привода рабочего оборудования 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 % (для одноковшового гидравлического экскаватора).

Большинство мобильных машин и оборудования ведущих производителей 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 [24]. На рисунке 10.2 представлена принципиальная схема экскаватора (ЭО-4540), снабженного противовесом. Рабочее оборудование в виде телескопической стрелы 8 с ковшом 3 обратной лопаты уравновешено противовесом, которым служит его привод 6, подвешенный к раме 4 экскаватора с помощью подвески 5. В этом варианте противовес

практически полностью уравновешивает рабочее оборудование, что значительно снижает затраты энергии на выполнение рабочего процесса.

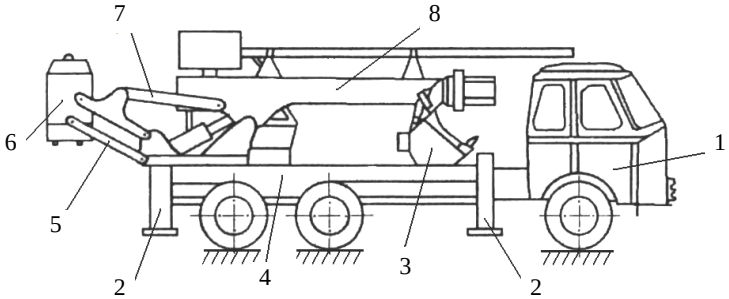


Рисунок 10.2 – Схема одноковшового экскаватора с противовесом:
1 – базовое шасси; 2 – выносные опоры; 3 – ковш; 4 – рама; 5 – подвеска противовеса; 6 – привод – противовес; 7 – тяга; 8 – стрела

Примером пружинного аккумулятора энергии может служить конструкция, представленная на рисунке 10.3. Тарельчатые пружины 2 уравновешивают рабочее оборудование экскаватора, снижая энергозатраты на копание ковшом 3 обратной лопаты.

Более эффективными, но и более сложными по конструкции являются *гидравлические рекуперативные системы*. Имеется два варианта реализации рекуперативных гидросистем;

1) 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;

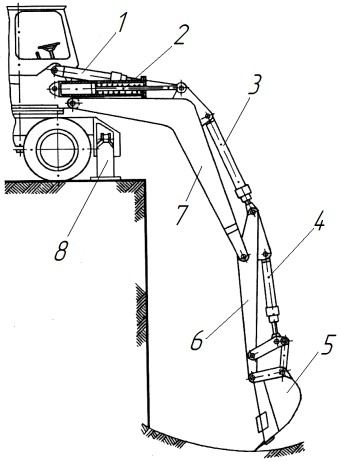


Рисунок 10.3 – Схема рекуперативной системы экскаватора с пружинным аккумулятором:
1 – гидроцилиндр управления стрелой; 2 – тарельчатая пружина; 3 – гидроцилиндр управления рукоятью; 4– гидроцилиндр управления ковшом; 5 – ковш обратной лопаты; 6 – рукоять; 7 – стрела; 8 – опора

2) гидросистемы с накапливанием 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 10.4. 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.

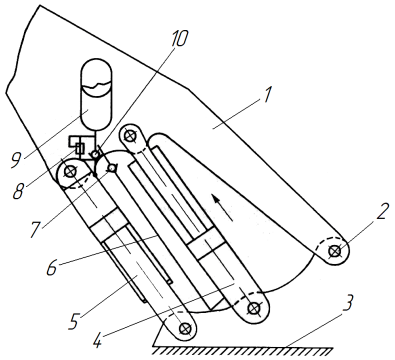


Рисунок 10.4 – Схема рекуперативной гидросистемы одноковшового экскаватора:
1 – стрела; 2 – пята стрелы; 3 – поворотная платформа; 4 – основной гидроцилиндр управления стрелой; 5 – вспомогательный гидроцилиндр; 6 – гидролиния; 7 – обратный клапан; 8 – клапан; 9 – гидроаккумулятор; 10 – обратный клапан

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 подпитка 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;

2) объединение поршневой и штоковой полостей гидроцилиндра стрелы через П-образный канал и соединение со сливной гидролинией через регулируемый дроссель. На рисунке 10.5 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 со 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.

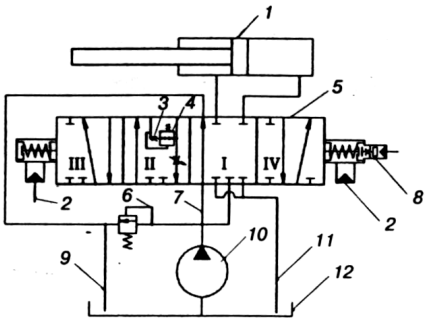


Рисунок 10.5 – Схема рекуперативной системы экскаватора с П-образным каналом в гидроцилиндре:
1 – гидроцилиндр; 2 – линии сервоуправления; 3 – дроссель; 4 – нормально открытый обратный клапан; 5 – четырехпозиционный распределитель; 6 – предохранительный клапан; 7 – гидролиния проточного канала; 8 – гидроупор; 9, 11 − сливные гидролинии; 10 – гидронасос; 12 – гидробак

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.

В ряде гидравлических систем, помимо рекуперации энергии попутных нагрузок, делаются попытки использовать теряемую (переходящую в тепло) энергию переходных процессов [24]. В качестве примера одного из вариантов рекуперативной системы на рисунке 10.6 приведена гидросхема блока рекуперации энергии попутных нагрузок, а также рекуперации потерь переходных процессов. 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.

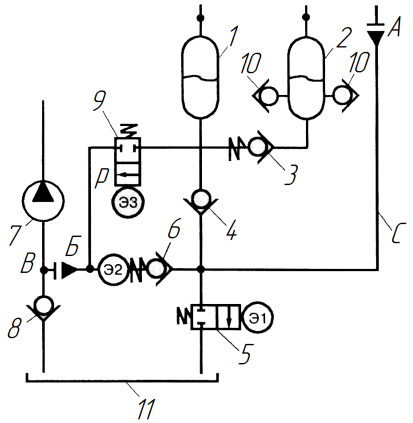


Рисунок 10.6 – Гидросхема блока рекуперации гравитационных и инерционных сил:
1, 2 – пневмогидроаккумуляторы;
3 – отратный перепускной клапан;
4 – обратный клапан; 5, 9 – гидрораспределители; 6 – обратный клапан;
7 – гидронасос; 8 – обратный всасывающий клапан; 9 – золотник рекуперации; 10 – обратный клапан;
Э1, Э2, Э3 – электромагниты;
В – всасывающая гидролиния;
С – сливная гидролиния; *Р* – гидролиния рекуперации

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 [24], при эксплуатации экскаватора с обратной лопатой полезное использование энергии составляет всего около 51 %, включая подъем стрелы – около 15 %, поворот рукояти – более 17 % и поворот ковша – около 16 %. С другой стороны, наибольшие потери энергии в гидроприводе рабочих органов возникают в гидрораспределителях (при дроссельном регулировании скоростей рабочего хода) – 20 % и в первичных предохранительных клапанах – более 17 %, а также в сливных гидролиниях – около 8 %, в исполнительных механизмах и вторичных предохранительных клапанах – более 4 %. Поэтому создание гидропривода с эффективной системой рекуперации энергии является одним из главных резервов рационального использования энергоресурсов экскаваторов. Вполне очевидно, что это направление ресурсосбережения имеет весьма обнадеживающие перспективы не только для дорожно-строительных машин циклического действия, но и для машин непрерывного действия.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)

СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫМ МАШИНАМ

На курсовое проектирование выносятся темы, связанные с модернизацией дорожно-строительных машин: для земляных работ, включая машины для подготовительных работ; землеройно-транспортные и землеройные; для уплотнения грунтов и оснований, а также для устройства дорожных покрытий, содержания и ремонта автомобильных дорог. Темой курсового проекта может быть модернизация рабочего оборудования машин, включая привод и конструкцию рабочих органов, приводов и конструкций основных механизмов, узлов передаточных механизмов, а также элементов системы управления, включая гидравлическую, механическую, пневматическую и др. Модернизация должна быть направлена на расширение технологических возможностей машины, снижение энергопотребления, повышение работоспособности при снижении ее удельных показателей материало- и энергоемкости.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки, объем которой составляет 30–40 листов, и графической части (3 листа чертежей формата А1).

Графическая часть курсового проекта включает чертежи общего вида машины (1 лист), одного из ее основных элементов, в частности, рабочего органа или рабочего оборудования (1 лист), а также привода, системы управления или их узлов (1 лист).

Расчетно-пояснительная записка включает следующие основные разделы:

– *Введение;*
– *Анализ патентной и научно-технической литературы;*
– *Расчеты основных параметров проектируемой машины;*
– *Расчеты на прочность основных узлов и деталей машины;*
– *Метрология и стандартизация;*
– *Энергосбережение, безопасность конструкции и эксплуатации разработанной машины;*
– *Список используемой литературы.*

Содержание курсового проекта, в частности его расчетной части, зависит от назначения машины и технологии работ, конструкции ее рабочих органов и основных узлов. Ниже приведено примерное содержание расчетной части курсовых проектов со ссылками на рекомендуемую литературу по каждой подгруппе машин. Вполне очевидно, что приведенные сведения, касающиеся расчетов основных параметров машин, можно и нужно дополнять и совершенствовать при подготовке проекта. Более подробная информация о тематике и оформлению курсовых проектов изложена в учебном пособии [18].

Расчетная часть курсового проекта землеройно-транспортных машин должна содержать следующие расчеты.

Для бульдозеров [1, 12, 13, 17, 23, 26, 28, 30, 46, 48, 63, 72, 73, 75, 78]:

1 Определение основных параметров (номинального тягового усилия по сцеплению, статического давления на грунт, положения центра давления, параметров отвала, удельных нагрузок на передней и задней кромках опорной поверхности движителя, скорости рабочего и обратного хода).

2 Тяговые расчеты (для двух расчетных положений с оценкой предельных значений глубины резания грунта).

3 Расчеты гидросистемы управления отвалом.

3.1 Выбор гидроцилиндров (по результатам оценки усилий заглубления и выглубления отвала).

3.2 Подбор и расчет гидрооборудования, составление гидросхемы.

4 Расчеты по индивидуальному заданию.

4.1 Расчеты на прочность рабочего оборудования бульдозера (толкающих брусьев, универсальной рамы, раскосов, компенсатора неравномерности нагрузок, отвала, шарнирных соединений).

4.2 Расчеты модернизированного оборудования.

Для рыхлителей [1, 13, 17, 23, 26, 28, 30, 44, 46, 48, 49, 69, 72, 73, 78]:

1 Определение основных параметров (номинального тягового усилия по сцеплению, максимальной глубины рыхления, среднего статического давления, смещения центра давления, удельного напорного усилия и вертикального давления на режущей кромке зуба; количества, шага и вылета зубьев, высоты и скорости их подъема, угла рыхления и угла заострения наконечников зубьев).

2 Расчеты гидросистемы управления рыхлителем.

2.1 Выбор гидроцилиндров (по результатам оценки сил, действующих на зуб при заглублении и выглублении рыхлителя).

2.2 Подбор и расчет гидрооборудования, составление гидросхемы.

3 Расчеты по индивидуальному заданию.

3.1 Расчеты на прочность элементов рабочего оборудования (рамы, в том числе шарнирных соединений, стержней и балок, зубьев).

3.2 Расчеты модернизированного оборудования.

Для одноковшовых погрузчиков [23, 28, 33, 44, 46, 48, 52, 63, 72, 78]:

1 Определение основных параметров (номинальной грузоподъемности, характеристик основного ковша, погрузочного оборудования – длины стрелы, фронтального вылета, высоты разгрузки и угла разгрузки ковша, положения центра давления и распределения нагрузок по осям, напорного и выглубляющего усилий, скоростей рабочего и обратного хода).

2 Тяговые расчеты (для различных режимов работы – заполнения ковша, передвижения погрузчика с грузом и без него).

3 Расчеты гидросистемы управления рабочим оборудованием.

3.1 Выбор гидроцилиндров поворота ковша (по результатам оценки максимального выглубляющего усилия).

3.2 Выбор гидроцилиндров стрелы (по результатам оценки максимального подъемного усилия).

3.3 Подбор и расчет гидрооборудования, составление гидросхемы.

4 Расчеты по индивидуальному заданию.

4.1 Расчеты на прочность рабочего оборудования и металлоконструкций (ковша, стрелы, портала, рычажной системы).

4.2 Расчеты модернизированного оборудования погрузчика.

Для автогрейдеров [17, 26, 28, 30, 44, 46, 48, 60, 63, 70, 72, 73, 78]:

1 Определение основных параметров (силы тяжести, силы тяги по сцеплению, мощности двигателя, базы и колеи, параметров отвала, рабочих и транспортных скоростей).

2 Тяговые расчеты (для рабочего и транспортного режимов).

3 Расчеты гидросистемы управления рабочими органами и механизмами.

3.1 Расчет гидроцилиндров механизма подъема отвала (по результатам оценки усилий заглубления и выглубления отвала).

3.2 Определение мощности гидромотора привода механизма поворота отвала (по результатам определения моментов сопротивления повороту для двух основных положений).

3.3 Расчет гидроцилиндров управления боковым наклоном колес (при работе на поперечных уклонах).

3.4 Подбор и расчет гидрооборудования, составление гидросхемы.

4 Расчеты по индивидуальному заданию.

4.1 Расчет модернизированного оборудования автогрейдера.

4.2 Расчеты на прочность рабочего оборудования и металлоконструкций (отвала, тяговой и основной рам, деталей трансмиссии и др.).

Для самоходных скреперов [17, 23, 26, 28, 30, 44, 46, 48, 59, 63, 69, 70, 72, 73, 76, 78]:

1 Определение основных параметров (вместимости ковша и его габаритных размеров, массы скрепера и ее распределения по осям, мощности силовой установки, рабочей и транспортной скоростей).

2 Расчеты гидросистемы управления рабочими органами.

2.1 Выбор гидроцилиндров подъема ковша (по результатам оценки усилий в начале выглубления полностью заполненного ковша при буксовании).

2.2 Выбор гидроцилиндров задней стенки (по результатам определения усилий в начале перемещения задней стенки в ковше, заполненном с шапкой, с открытой заслонкой).

2.3 Расчет гидроцилиндров заслонки (по результатам оценки усилий при открывании и закрывании заслонки).

2.4 Выбор гидроцилиндров подъема рабочего оборудования принудительной загрузки ковша (по результатам оценки усилий при подъеме шнеков или элеватора при полной загрузке ковша).

2.5 Выбор гидромоторов привода рабочего оборудования принудительной загрузки ковша (базируется на расчетах мощности привода шнеков или элеватора).

2.6 Подбор и расчет гидрооборудования, составление гидросхемы.

3 Расчеты по индивидуальному заданию.

3.1 Расчет модернизированного оборудования скрепера.

3.2 Расчеты на прочность узлов и элементов рабочего оборудования (сцепного устройства, тяговой рамы, элементов ковша, деталей ходового оборудования, деталей привода управления, буферного устройства, соединений).

3.3 Расчет привода механизма передвижения (мотор-колес).

Расчетная часть курсового проекта землеройных машин должна иметь следующие расчеты, которые следует учитывать.

Для одноковшовых экскаваторов [2, 17, 23, 27, 28, 30, 44, 46-48, 61,62, 72, 73, 78].

***– с гибкой подвеской*:**

1 Определение основных параметров машины (массы машины, массы и размеров рукояти и стрелы в различных сечениях, массы и размеров ковша, габаритов платформы, узлов и механизмов машины, параметров разработки забоя, скорости хода машины и ее механизмов). Производят для прямой лопаты – расчетного рабочего оборудования.

2 Расчет мощности.

2.1 Расчет мощности силовой установки экскаватора (по суммарной мощности механизмов подъема ковша и напора для прямой лопаты).

2.2 Расчет мощности механизма подъема ковша (расчетное положение – подъемный полиспаст занимает вертикальное положение, конец зуба ковша – на горизонтальной линии с осью напорного вала, стрела – под углом 45°).

2.3 Расчет мощности напорного механизма (усилия напора определяют в трех расчетных положениях: начало копания – стрела под углом 60°; конец копания – стрела под углом 45° с максимальным вылетом ковша; стрела под углом 60° с максимальным подъемом ковша).

2.4 Расчет мощности механизма поворота (проверочный для оценки правильности выбора силовой установки машины).

3 Статический расчет экскаватора.

3.1 Определение массы противовеса (для двух расчетных положений).

3.2 Оценка общей устойчивости машины для рабочего и транспортного режимов (для рабочего – оценивают коэффициент запаса устойчивости $K_{\text{у}}$

с учетом того, что допускаемый $[K_У] = 1{,}05 \ldots 1{,}1$; для транспортного – оценивают наибольший угол подъема или уклона по условиям реализации наибольшего тягового усилия по сцеплению).

4 Расчеты по индивидуальному заданию.

4.1 Расчеты на прочность рабочего оборудования прямой лопаты (стрелы, рукояти, ковша).

4.2 Расчеты рабочего оборудования драглайна (стрелы, ковша, канатов).

4.3 Расчеты механизмов и узлов экскаватора (механизмов подъема и напора, механизма тяги – для драглайна, ковша, деталей механизма поворота, платформы, нижней и ходовой рам).

4.4 Расчеты сменных рабочих органов.

4.5 Расчеты модернизированного оборудования.

– с гидравлической подвеской:

1 Определение основных параметров экскаватора (массы машины, мощности силовой установки, массы и размеров рукояти, стрелы, ковша, сменного рабочего оборудования, габаритных размеров платформы, узлов и механизмов машины, параметров разработки забоя). Производят для обратной лопаты – расчетного рабочего оборудования.

2 Расчет гидросистемы управления рабочим оборудованием.

2.1 Определение энергоемкости операций копания и подбор гидроцилиндров управления рукоятью, ковшом и стрелой.

2.2 Расчет параметров гидромотора привода механизма поворота.

3 Проверка устойчивости экскаватора (по методике, указанной в п. 3.2, для одноковшовых экскаваторов с гибкой подвеской).

4 Расчеты по индивидуальному заданию.

4.1 Расчет модернизированных узлов и элементов рабочего оборудования.

4.2 Расчеты на прочность рабочего оборудования (стрелы, рукояти, ковша).

4.3 Расчеты привода механизмов передвижения и поворота экскаватора.

4.4 Расчеты сменного рабочего оборудования.

Для многоковшовых экскаваторов продольного копания (траншеекопателей) [17, 23, 25, 28, 30, 38, 44, 46, 48, 57, 63, 72, 73, 78].

***– с роторным рабочим органом*:**

1 Определение основных параметров (диаметра ротора, частоты его вращения, числа разгрузок ковша, вместимости ковша, шага ковшей; рабочей скорости движения экскаватора, производительности и геометрических характеристик отвального конвейера).

2 Баланс мощности.

2.1 Определение мощности привода ротора.

2.2 Определение мощности привода конвейера.

2.3 Определение мощности, необходимой для передвижения экскаватора.

2.4 Сопоставление общей мощности механизмов с мощностью силовой установки базового тягача.

3 Расчет гидросистемы управления рабочими органами и механизмами.

3.1 Выбор гидромоторов привода ротора, конвейера и механизма передвижения экскаватора (базируется на расчетах мощности, приведенных в разд. 2).

3.2 Определение усилий в гидроцилиндрах механизма подъема рабочего оборудования.

3.3 Подбор гидравлического оборудования и составление гидросхемы.

4 Расчеты по индивидуальному заданию.

4.1 Расчеты на прочность (ротора – при выглублении, элементов металлоконструкций, включая раму, ковша, деталей отвального конвейера).

4.2 Расчеты привода (рабочего хода экскаватора, ротора, конвейера).

4.3 Расчеты модернизированного оборудования.

– *с цепным рабочим органом*:

1 Определение основных параметров (массы экскаватора, вместимости ковша, шага, длины и скорости движения цепи, шага ковшей по условию свободной разгрузки, числа разгрузок ковша, скорости движения экскаватора, производительности и геометрических характеристик конвейера).

2 Баланс мощности.

2.1 Определение мощности привода цепи (складывается из мощностей, затрачиваемых на копание грунта и его подъем до места разгрузки).

2.2 Определение мощности привода передвижения экскаватора.

2.3 Оценка мощности привода конвейера (складывается из мощностей, расходуемых на перемещение ленты транспортера и грунта на ленте транспортера).

2.4 Оценка мощности, затрачиваемой на привод гидронасосов.

2.5 Сопоставление общей мощности механизмов экскаватора с мощностью силовой установки базовой машины.

3 Расчет гидросистемы управления рабочими органами и механизмами.

3.1 Выбор гидромоторов привода цепи, конвейера и механизма хода экскаватора (базируется на расчетах мощности этих механизмов).

3.2 Определение усилий в гидроцилиндрах механизма подъема цепного рабочего органа.

3.3 Подбор гидравлического оборудования и составление гидросхемы.

4 Расчеты по индивидуальному заданию.

4.1 Расчеты на прочность (элементов металлоконструкций, включая раму рабочих органов, ковша, цепи, элементов трансмиссии).

4.2 Расчеты привода (рабочего хода экскаватора, цепного органа, конвейера).

4.3 Расчеты модернизированного оборудования.

Курсовые проекты машин для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов должны содержать следующие расчеты.

Для самоходных катков для уплотнения асфальтобетонных покрытий [5, 6, 14, 23, 28–30, 44, 46, 50, 63, 72, 78]:

1 Определение основных параметров (массы катка, ширины уплотняемой полосы, тягового усилия по сцеплению, скорости движения, мощности силовой установки; для катков статического действия с гладкими вальцами – радиуса и ширины вальцов, максимального контактного давления, глубины воздействия вальца; для катков с вибровальцами – вынуждающую силу вибратора, амплитуду колебаний, мощность привода вибровозбудителя; для катков с пневмошинами – размера и количества шин, давления воздуха в шинах).

2 Расчет гидросистемы управления.

2.1 Выбор гидромоторов привода передвижения катков (базируется на оценке максимального тягового усилия на ведущих вальцах, полученного из тяговых расчетов).

2.2 Выбор гидромотора привода вибровозбудителя.

2.3 Выбор гидроцилиндров управления поворотом машины (с учетом сил сопротивления, возникающих при повороте управляемого вальца).

2.4 Выбор гидравлического оборудования и составление гидросхемы.

3 Расчеты по индивидуальному заданию.

3.1 Расчет виброизоляции рамы и рабочего места оператора (машиниста) виброкатка.

3.2 Расчеты на прочность элементов металлоконструкций катков.

3.3 Расчеты модернизированного оборудования.

В курсовых проектах машин для устройства и содержания дорожной одежды автомобильных дорог расчетная часть имеет свои особенности.

Для асфальтоукладчиков [5, 6, 14, 29, 30, 33, 39, 63, 69]:

1 Определение основных параметров (массы машины, ширины и толщины укладываемого слоя покрытия, вместимости бункера, рабочих и транспортных скоростей, мощности силовой установки).

2 Баланс мощности.

2.1 Определение мощности рабочего хода машины (базируется на результатах тягового расчета).

2.2 Определение мощностей приводов рабочих органов (питателя, трамбующего бруса, распределительного шнека и др.).

2.3 Сопоставление мощности силовой установки с суммарной мощностью, необходимой для осуществления рабочего процесса.

3 Расчеты системы управления рабочими органами и механизмами.

3.1 Выбор гидроцилиндров подъема боковых стенок бункера и рабочих органов (шнека, бруса, плиты, заслонок).

3.2 Выбор гидромоторов приводов рабочего хода машины и рабочих органов (вибраторов уплотняющих элементов, питателей, шнеков).

3.3 Подбор гидрооборудования и составление гидросхемы.

4 Расчеты по индивидуальному заданию.

4.1 Расчеты модернизированного оборудования.

4.2 Расчеты на прочность элементов металлоконструкций и рабочего оборудования (шнеков, брусьев, плит, конвейеров, шарнирных соединений и др.).

4.3 Расчет ходового оборудования и его привода.

Для распределителей дорожно-строительных материалов [29, 30, 39, 63]:

1 Определение основных параметров (массы машины, вместимости бункера, ширины и толщины укладываемого слоя материала, рабочих и транспортных скоростей, мощности силовой установки).

2 Баланс мощности.

2.1 Определение мощности рабочего хода машины (базируется на результатах тягового расчета).

2.2 Определение мощностей приводов рабочих органов (распределительного шнека и валка, разравнивающего бруса и виброплиты, заслонок бункера).

2.3 Сопоставление мощности силовой установки с общей мощностью, необходимой для осуществления рабочего процесса.

3 Расчеты гидросистемы управления рабочими органами и механизмами.

3.1 Выбор гидроцилиндров подъема рабочих органов (разравнивающего бруса, заслонок).

3.2 Выбор гидромоторов привода рабочего хода машины и привода вибраторов уплотняющей плиты.

3.3 Подбор гидрооборудования и составление гидросхемы.

4 Расчеты по индивидуальному заданию.

4.1 Расчеты модернизированного оборудования.

4.2 Расчеты на прочность элементов металлоконструкций и рабочих органов (бруса, плиты, шарнирных соединений).

Для машин по летнему содержанию автомобильных дорог (подметально-уборочных машин) [5, 6, 29, 30, 39, 79]:

1 Определение основных параметров (вместимости бункера для смета, объема водяного бака системы влажного обеспыливания или расхода воздуха вакуумной системы обеспыливания, параметров главной цилиндрической и лотковых щеток, мощности силовой установки, рабочей и транспортной скоростей).

2 Баланс мощности.

2.1 Определение мощности привода главной щетки.

2.2 Определение мощности привода конических щеток.

2.3 Определение мощности вспомогательного оборудования (гидронасоса системы управления и др.).

2.4 Определение мощности привода системы транспортирования смета в бункер.

2.5 Определение мощности привода рабочего хода машины.

2.6 Определение мощности привода системы влажного обеспыливания.

2.7 Определение мощности привода вентилятора вакуумной системы обеспыливания.

2.8 Сопоставление мощности силовой установки машины с общей мощностью агрегатов машины для осуществления рабочего процесса.

3 Расчеты гидросистемы управления рабочими органами и механизмами.

3.1 Выбор гидроцилиндров подъема рабочих органов.

3.2 Выбор гидроцилиндров разгрузки контейнеров для смета.

3.3 Выбор гидромоторов привода щеток.

3.4 Выбор гидромоторов привода конвейера и шнекового подборщика.

3.5 Подбор гидрооборудования и составление гидросхемы.

4 Расчеты по индивидуальному заданию.

4.1 Расчеты модернизированного оборудования.

4.2 Расчеты рабочего оборудования и его привода.

4.3 Расчеты на прочность элементов металлоконструкций и рабочих органов.

Для машин по зимнему содержанию автомобильных дорог (снегоочистителей) [5, 6, 29, 39, 63, 79]:

1 Определение основных параметров:

1.1 Плужно-щеточного снегоочистителя – мощности силовой установки, параметров отвала и щетки, ширины захвата, рабочих и транспортных скоростей.

1.2 Роторного снегоочистителя – мощности силовой установки, ширины захвата, параметров ротора (угла разгрузки, дальности отбрасывания снега, скорости вращения), параметров питателя (частоты вращения, диаметра и ширины ленты фрезы, толщины снежного покрова, рабочих и транспортных скоростей).

2 Баланс мощности:

2.1 Роторного снегоочистителя.

2.1.1 Определение мощности роторного механизма, расходуемой на преодоление сопротивления трения снега о кожух ротора, на сообщение снежной массе необходимой кинетической энергии и на подъем снега.

2.1.2 Определение мощности питателя, затрачиваемой на резание снега, его перемещение к ротору и сообщение снегу нужной скорости.

2.1.3 Определение мощности, расходуемой на перемещение машины.

2.1.4 Сопоставление мощности силовой установки машины с общей мощностью приводов рабочих органов и хода.

2.2 Плужно-щеточного тихоходного снегоочистителя.

2.2.1 Определение мощности, передаваемой на щетку через колеса машины.

2.2.2 Определение мощности, передаваемой коробкой отбора мощности, затрачиваемой при волочении ворса и срезании снега, а также обусловленной деформацией ворса.

2.2.3 Определение мощности, необходимой для перемещения машины.

2.2.4 Определение мощности, необходимой для работы плужного оборудования (с учетом сопротивлений снега резанию, перемещению снега перед отвалом и вдоль отвала – по результатам тягового расчета).

2.2.5 Сопоставление мощности силовой установки с общей мощностью приводов рабочих органов и хода.

3 Расчет гидросистемы управления рабочими органами плужно-щеточного снегоочистителя.

3.1 Выбор гидроцилиндров подъема отвала и щетки.

3.2 Выбор гидромотора привода щетки.

3.3 Выбор гидрооборудования и составление гидросхемы.

4 Расчет гидросистемы управления рабочими органами роторного снегоочистителя.

4.1 Выбор гидроцилиндров подъема рабочих органов.

4.2 Выбор гидроцилиндра (двухстороннего действия) поворота ротора.

5 Расчеты по индивидуальному заданию.

5.1 Расчеты модернизированного оборудования.

5.2 Расчеты на прочность узлов и элементов рабочего оборудования (щетки, плуга, соединений, кожуха ротора, деталей ротора и питателя – шнека или фрезы).

5.3 Расчет привода ротора.

5.4 Расчет привода питателя.

5.5 Расчет ходоуменьшителя.

Для машин для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий [5, 6, 20, 33]:

1 Определение основных параметров (мощности силовой установки, вместимости бункеров для асфальтобетона или щебня, для вяжущего и бака для воды, габаритов разогреваемого участка ремонтируемой поверхности, давления подачи вяжущего, производительности, транспортных скоростей).

2 Расчеты системы управления рабочими органами и механизмами.

2.1 Выбор гидроцилиндров гидроманипулятора.

2.2 Выбор гидромотора питателя (асфальтобетонной смеси или щебня).

2.3 Подбор оборудования и расчет пневмосистемы подачи материалов.

Для машин для среднего и капитального ремонта асфальтобетонных покрытий [5, 6, 20, 29, 30, 63, 79]:

1 Определение основных параметров (мощности силовой установки, массы машины, ширины и толщины срезаемого и наращиваемого слоев покрытия, вместимости бункеров для вяжущего и минерального наполнителей, рабочих и транспортных скоростей).

2 Баланс мощности.

2.1 Определение мощности рабочего хода машины (базируется на результатах тягового расчета).

2.2 Определение мощности привода рабочих органов (фрезерного устройства, рыхлителя, смесителя, питателя, распределительного шнека, планировочного отвала, трамбующего бруса, выглаживающей плиты).

2.3 Определение мощности привода насосов подачи вяжущего.

2.4 Определение мощности нагревательных элементов.

2.5 Определение мощности компрессора.

2.6 Сопоставление мощности силовой установки с суммарной мощностью, необходимой для осуществления рабочего процесса.

3 Расчеты системы управления рабочими органами и механизмами.

3.1 Выбор гидроцилиндров подъема-опускания рабочих органов (фрезерного устройства, шнека, трамбующего бруса, выглаживающей плиты) и боковых стенок бункера.

3.2 Выбор гидромоторов приводов рабочего хода машины и рабочих органов (вибраторов уплотняющих элементов, питателей, смесителя, фрезы, шнека).

3.3 Выбор привода насоса для подачи вяжущего.

3.4 Подбор оборудования и расчет пневмосистемы.

3.5 Подбор оборудования и составление гидросхемы.

4 Расчеты по индивидуальному заданию.

4.1 Расчеты на прочность металлоконструкций, узлов и деталей рабочего оборудования (фрезы, отвала, бруса, плиты, шнека, конвейера).

4.2 Расчеты приводов рабочих органов (фрезы, шнека, конвейера, бруса).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(рекомендуемое)

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1 **Абрамович, В. А.** Расчет гидропривода механизмов одноковшового экскаватора / В. А. Абрамович, В. А. Довгяло. – Гомель : БелГУТ, 2003. – 49 с.

2 Автоматика и автоматизация производственных процессов в строительстве и путевом хозяйстве / под ред. В. Ф. Яковлева. – М. : Транспорт, 1990. – 279 с.

3 **Балакин, В. А**. Расчеты на прочность деталей дорожных и строительных машин при циклических нагружениях / В. А. Балакин, В. А. Довгяло, А. А. Иванов. − Гомель : БелГУТ, 2007. – 36 с.

4 **Баловнев, В. И.** Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия / В. И. Баловнев. – М. : Машиностроение, 1981. – 224 с.

5 Дорожно-строительные машины и комплексы / В. И. Баловнев [и др.]. – Москва – Омск : Изд-во СибАДИ, 2001. – 528 с.

6 **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.

7 **Баловнев, В. И.** Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – М. : Транспорт, 1983. – 183 с.

8 **Баловнев, В. И.** Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – М. : Транспорт, 1993. – 393 с.

9 **Башта, Т. М.** Машиностроительная гидравлика / Т. М. Башта. – М. : Машиностроение, 1971. – 672 с.

10 **Беркман, И. Л.** Универсальные одноковшовые строительные экскаваторы / И. Л. Беркман, А. В. Раннев, А. К. Рейш. – М. : Высшая школа, 1977. – 384 с.

11 **Беркман, И. Л.** Одноковшовые строительные экскаваторы / И. Л. Беркман, А. В. Раннев, А. К. Рейш. – М. : Высшая школа, 1986. – 272 с.

12 **Браневич, А. Г.** Курсовое и дипломное проектирование по специальности «Строительные машины и монтажное оборудование» / А. Г. Браневич. – М. : Стройиздат, 1973. – 293 с.

13 Бульдозеры и рыхлители / Б. З. Захарчук [и др.]. – М. : Машиностроение, 1987. – 236 с.

14 Машины для укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси / С. А. Варганов [и др.]. – М. : Высшая школа, 1979. – 207 с.

15 **Васильченко, В. А.** Гидравлическое оборудование мобильных машин: справ. / В. А. Васильченко. – М. : Машиностроение, 1983. – 301 с.

16 **Довгяло, В. А.** Тематика и основные рекомендации по дипломному про-

ектированию / В. А. Довгяло, Е. Л. Сенькова. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 54 с.

17 **Довгяло, В. А.** Дорожно-строительные машины. Ч. 1. Машины для земляных работ / В. А. Довгяло, Д. И. Бочкарев. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 250 с.

18 **Довгяло, В. А**. Дорожные машины / В. А. Довгяло. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 36 с.

19 **Довгяло, В. А.** Методы повышения работоспособности машин и механизмов/ В. А. Довгяло. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 231 с.

20 **Довгяло, В. А.** Машины для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий/ В. А. Довгяло, В. Л. Моисеенко, Д. И. Бочкарев. – Гомель : БелГУТ, 2004.- 43 с.

21 **Довгяло, В. А.** Технические основы создания машин / В. А. Довгяло, А. М. Щемелев, А. В. Вавилов – Гомель : БелГУТ, 2009. – 330 с.

22 **Добронравов, С. С.** Строительные машины и оборудование : справ. / С. С. Добронравов, М. С. Добронравов. – М. : Высшая школа, 2006. – 445 с.

23 **Домбровский, Н. Г.** Строительные машины. Ч. 2 / Н. Г. Домбровский, М. И. Гальперин. – М. : Высшая школа, 1985. – 224 с.

24 **Домбровский, Н. Г.** Строительные машины. Ч. 1 / Н. Г. Домбровский, Ю. Л. Картвелишвили, М. И. Гальперин. – М. : Машиностроение, 1976. – 391 с.

25 **Домбровский, Н. Г.** Многоковшовые экскаваторы. Конструкция, теория и расчет / Н. Г. Домбровский. – М. : Машиностроение, 1972. – 432 с.

26 **Домбровский, Н. Г.** Землеройно-транспортные машины / Н. Г. Домбровский, М. И. Гальперин. – М. : Машиностроение, 1965. – 273 с.

27 **Домбровский, Н. Г.** Землеройные машины. Ч. 1. Одноковшовые экскаваторы / Н. Г. Домбровский, С. А. Панкратов. – М. : Машиностроение, 1961. – 650 с.

28 Дорожные машины. Ч. 1. Машины для земляных работ / Т. В. Алексеева [и др.]. – М. : Машиностроение, 1972. – 504 с.

29 Дорожные машины. Ч. 2. Машины для устройства дорожных покрытий / К. А. Артемьев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – 396 с.

30 Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет / под ред. Н. Я. Хархуты. – М. : Машиностроение, 1976. – 468 с.

31 Дорожные машины. Атлас конструкций / под ред. А. Я. Бромберга. – М. : Машиностроение, 1969. – 151 с.

32 Дорожные машины. Машины для подготовительных работ : каталог-справ. / под ред. С. А. Жидковой и В. Д. Жадана. – М. : ЦНИИТЭ-Строймаш, 1981. – 493 с.

33 Дорожно-строительные машины / А. В. Вавилов [и др.]. – Мн. : Технопринт, 2000. – 515 с.

34 **Дроздов, Н. Е.** Курсовое и дипломное проектирование по специальности «Строительные машины и оборудование» / Н. Е. Дроздов, Л. А. Фейгин. – М. : Стройиздат, 1980. – 180 с.

35 **Дроздов, Н. Е.** Строительные машины и оборудование / Н. Е. Дроздов, Л. А. Фейгин, В. С. Заленский. – М. : Стройиздат, 1988. – 191 с.

36 **Живейнов, Н. Н.** Строительная механика и металлоконструкции строительных и дорожных машин / Н. Н. Живейнов, Г. Н. Карасев, И. Ю. Цвей. – М. : Машиностроение, 1988. – 280 с.

37 **Заленский, В. С.** Строительные машины. Примеры расчетов / В. С. Заленский. – М. : Стройиздат, 1973. – 267 с.

38 Землеройные машины непрерывного действия. Конструкция и расчеты / под ред. Л. Е. Подборского. – М. : Машиностроение, 1965. – 275 с.

39 **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.

40 **Лейко, В. С.** Строительные машины и механизмы в энергетическом строительстве / В. С. Лейко. – М. : Машиностроение, 1985. – 223 с.

41 **Лозовой, Д. А.** Землеройно-транспортные машины : справ. пособие / Д. А. Лозовой, А. А. Покровский. – М. : Машиностроение, 1973. – 256 с.

42 Машины для землеройных работ в строительстве. Ч. 1. Отраслевой каталог. – М. : Объединение «Машмир», 1991. – 199 с.

43 Скоростное строительство дорожных одежд с цементобетонным покрытием / В. С. Марышев [и др.]. – М. : Транспорт, 1978. – 216 с.

44 Машины для земляных работ / Ю. А. Ветров [и др.]. – Киев : Вища школа, 1981. – 383 с.

45 Машины для земляных работ. Атлас конструкций / под ред. А. А. Бромберга. – М. : Машиностроение, 1968. – 135 с.

46 Машины для земляных работ / под ред. Н. Г. Гаркави. – М. : Высшая школа, 1982. – 335 с.

47 Машины для земляных работ. Теория и расчет / под ред. А. А. Бромберга. – М. : Машиностроение, 1964. – 383 с.

48 Машины для земляных работ / под общ. ред. Д. П. Волкова. – М. : Машиностроение, 1992. – 448 с.

49 Машины для разработки мерзлых грунтов / под ред. В. Д. Телушкина. – М. : Машиностроение, 1973. – 272 с.

50 Машины для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материа-

лов / под ред. С. А. Варганова. – М. : Машиностроение, 1981. – 240 с.

51 **Новиков, А. Н.** Машины для строительства цементобетонных дорожных покрытий / А. Н. Новиков. – М. : Высшая школа, 1975. – 247 с.

52 **Плешков, Д. И.** Строительные погрузчики / Д. И. Плешков, А. И. Скокан. – М. : Высшая школа, 1974. – 272 с.

53 Проектирование и оформление чертежей в машиностроении : учеб. пособие. В 2 ч. / А. М. Щемелев [и др.] ; под общ. ред. А. М. Щемелева. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2008. – Ч. 1 – 245 с., Ч. 2 – 294 с.

54 Ремонтно-строительные машины и механизмы / под ред. Н. Г. Гаркави. – М. : Высшая школа, 1988. – 280 с.

55 **Рейш, А. К.** Земляные работы / А. К. Рейш, А. В. Куртинов, А. П. Дегтярев. – М. : Стройиздат, 1984. – 320 с.

56 Машины для земляных работ / А. К. Рейш [и др.]. – М. : Стройиздат, 1981. – 352 с.

57 **Румянцев, В. А.** Новые конструкции траншейных экскаваторов / В. А. Румянцев, И. З. Фиглин, Л. М. Синдаловский. – М. : Машиностроение, 1969. – 128 с.

58 **Савин, И. Ф.** Гидравлический привод строительных машин / И. Ф. Савин. – М. : Стройиздат, 1974. – 240 с.

59 Самоходные пневмоколесные скреперы и землевозы / под ред. Д. И. Плешкова. – М. : Машиностроение, 1970. – 271 с.

60 **Севров, К. П.** Автогрейдеры. Конструкция, теория, расчет / К. П. Севров, Б. В. Горячко, А. А. Покровский. – М. : Машиностроение, 1970. – 192 с.

61 **Смоляницкий, Э. А.** Гидравлические экскаваторы. Ч. I. Определение параметров / Э. А. Смоляницкий, Н. В. Мокин. – Новосибирск, 1976. – 80 с.

62 **Смоляницкий, Э. А.** Гидравлические экскаваторы. Ч. II. Расчет и конструирование механизмов / Э. А. Смоляницкий, Н. В. Мокин. – Новосибирск, 1977. – 65 с.

63 Справочник конструктора дорожных машин / под ред. И. П. Бородачева. – М. : Машиностроение, 1973. – 503 с.

64 Строительные машины. Атлас конструкций / под ред. Н. Г. Домбровского. – М. : Машиностроение, 1960. – 295 с.

65 Строительные машины : справ. / под ред. В. А. Баумана, Ф. А. Лапира. Т. 1. – М. : Машиностроение, 1976. – 502 с.

66 Строительные машины : справ. В 2 т. Т. 1. Машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог / под общ. ред. Э. Н. Кузина. – М. : Машиностроение, 1981. – 496 с.

67 Строительные машины : каталог-справ. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1979. – 523 с.

68 Строительные машины / под ред. Д. П. Волкова – М. : Высшая школа, 1988. – 319 с.

69 Теория, конструкция и расчет строительных и дорожных машин / под ред. Л. А. Гобермана. – М. : Машиностроение, 1988. – 407 с.

70 **Ульянов, Н. А.** Самоходные колесные землеройно-транспортные машины / Н. А. Ульянов, Э. Г. Роненсон, В. Г. Соловьев. – М. : Машиностроение, 1976. – 359 с.

71 **Холодов, А. М.** Землеройно-транспортные машины : справ. / А. М. Холодов, В. В. Ничке, Л. В. Назаров. – Харьков : Вища школа, 1982. – 192 с.

72 **Холодов, А. М.** Проектирование машин для земляных работ / А. М. Холодов. – Киев : Вища школа, 1986. – 272 с.

73 **Чижик, Е. И.** Машины для земляных работ / Е. И. Чижик. – Могилев, 2005. – 250 с.

74 Экскаваторы / Я. Е. Шостак [и др.]. – Мн. : Вышэйшая школа, 1974. – 368 с.

75 **Щемелев, А. М.** Расчет бульдозера / А. М. Щемелев. – Могилев : МГТУ, 2001. – 137 с.

76 **Щемелев, А. М.** Расчет скреперов / А. М. Щемелев, В. А. Довгяло. – Гомель : БелГУТ, 1995. – 69 с.

77 **Щемелев, А. М.** Строительные машины и средства малой механизации / А. М. Щемелев, С. Б. Партнов, Л. И. Белоусов. – Мн. : Дизайн ПРО, 1998. – 272 с.

78 **Щемелев, А. М.** Проектирование гидропривода машин для земляных работ / А. М. Щемелев. – Могилев : ММИ, 1995. – 322 с.

79 Эксплуатация специальных автомобилей для содержания и ремонта городских дорог / В. И. Баловнев [и др.]. – М. : Транспорт, 1992. – 263 с.

80 Экскаваторы и стреловые краны : каталог-справ. – М. : ИТЭстроймаш, 1977. – 356 с.

81 **Юшкин, В. В.** Гидравлика и гидравлические машины / В. В. Юшкин. – Мн. : Вышэйшая школа, 1974. – 268 с.

82 **Юшкин, В. В.** Основы расчета объемного гидропривода / В. В. Юшкин. – Мн. : Вышэйшая школа, 1982. – 286 с.

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 **Баловнев, В. И.** Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – М. : Транспорт, 1993. – 393 с.

5 **Васильев, А. А.** Дорожные машины / А. А. Васильев. – М. : Машиностроение, 1987. – 416 с.

6 **Добронравов, С. С.** Строительные машины и основы автоматизации / С. С. Добронравов, В.Г.Дронов. – М. : Высшая школа, 2003. – 575 с.

7 **Добронравов, С. С.** Строительные машины и оборудование: справ. / С. С. Добронравов, М. С. Добронравов. – М. : Высшая школа, 2006. – 445 с.

8 **Довгяло, В. А.** Автоматизированные системы управления путевыми и дорожно-строительными машинами / В. А. Довгяло, Д. И. Бочкарев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 202 с.

9 **Довгяло, В. А.** Дорожно-строительные машины. Ч. 1. Машины для земляных работ / В. А. Довгяло, Д. И. Бочкарев. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 250 с.

10 **Довгяло, В. А.** Машины для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий / В. А. Довгяло, В. Л. Моисеенко, Д. И. Бочкарев. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 43 с.

11 **Довгяло, В. А.** Машины и оборудование для производства асфальтобетонных смесей / В. А. Довгяло, Д. И. Бочкарев, В.А.Мартиновский. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 91 с.

12 **Довгяло, В.А.** Методы повышения работоспособности машин и механизмов/ В. А. Довгяло. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 231 с.

13 Дорожно-строительные машины и комплексы / В. И. Баловнев [и др.]. – Москва – Омск : Изд-во Сиб АДИ, 2001. – 528 с.

14 Дорожно-строительные машины / А. В. Вавилов [и др.]. – Мн. : Технопринт, 2000. – 515 с.

15 Дорожные машины. Ч. 2. Машины для устройства дорожных покрытий / К. А. Артемьев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – 396 с.

16 Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет / под ред. Н. Я. Хархуты. – М. : Машиностроение, 1976. – 468 с.

17 **Доценко, А. И.** Строительные машины / А. И. Доценко, В. Г. Дронов. – М. : ИНФРА-М, 2012. – 533 с.

18 **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.

19 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.

20 Справочник конструктора дорожных машин / под ред. И. П. Бородачева. – М. : Машиностроение, 1973. – 503 с.

21 **Тюрин, Н. А.** Дорожно-строительные материалы и машины / Н. А. Тюрин, Г. А. Бессараб, В. Н. Язов. – М. : Академия, 2009. – 304 с.

22 **Шестопалов, К. К.** Строительные и дорожные машины / К. К. Шестопалов. – М. : Академия, 2008. – 384 с.

23 Строительные и дорожные машины. – 2001. – № 3. – С. 12–15; 2005.– № 7. – С. 24–25; 1999. – № 5. – С. 16–17; 1999. – № 9. − С. 6–9; 2001. – № 1. − С. 10–13, а.с. СССР № 1414915.

24 Строительные и дорожные машины. – 2001. – № 6. − С. 5−7; 2008. – № 9. С. 49–51; 2007. – № 5. − С.3–10; 2003. – № 12. − С. 35–38.

Учебное издание

ДОВГЯЛО Владимир Александрович
БОЧКАРЕВ Дмитрий Игоревич

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ
Часть II
Машины для устройства и ремонта дорожных покрытий

Учебное пособие

Редактор *Н. А. Дашкевич*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректор *Т. А. Пугач*
Компьютерный набор и верстка *В. А. Довгяло*

Подписано в печать ……г. Формат 60x84 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.