

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог»

Ю.Г.Бабаскин
И.Н.Вербило

ТЕХНОЛОГИЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Учебное пособие
по дисциплине «Технология дорожного строительства»
для студентов специальности 1-36 11 01
«Подъемно-транспортные, строительные, дорожные
машины и оборудование»

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом Белорусского
национального технического университета в качестве учебного
пособия для студентов БНТУ*

Минск 2003

УДК 625.7/8 (075.8)

ББК 39.311

Б 12

Рецензенты:

Кафедра «Проектирование дорог» Белорусского
национального технического университета,
д-р техн. наук, проф. А.В.Вавилов

Бабаскин Ю.Г.

Б 12 Технология дорожного строительства: Учеб. пособие по спец. «Технология дорожного строительства» для студ. спец. 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» / Ю.Г.Бабаскин, И.Н.Вербилло. – Мн.: БНТУ, 2003. – 202 с.

ISBN 985-479-023-1.

Цель данного издания – оказание методической помощи студентам специальности 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» при изучении дисциплины «Технология дорожного строительства». Пособие содержит теоретический материал по строительству земляного полотна автомобильной дороги и всех существующих видов дорожных одежд. Материал изложен таким образом, чтобы предполагалось последовательное изучение основных элементов автомобильных дорог; видов работ, выполняемых при сооружении земляного полотна; технологии строительства дорожных одежд с покрытиями низших, переходных и усовершенствованных облегченных типов; технологии строительства асфальтобетонных и цементобетонных покрытий. Теоретический материал, изложенный в учебном пособии, и количество представленных тем соответствуют разработанной учебной программе по дисциплине «Технология дорожного строительства» для студентов специальности «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование».

УДК 625.7/8 (075.8)

ББК 39.311

ISBN 985-479-023-1

© Бабаскин Ю.Г.,
Вербилло И.Н., 2003

Введение

Представленный материал предназначен для изучения в высших учебных заведениях дисциплины «Технология дорожного строительства» студентами специальности 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование».

Целью изучения данной дисциплины является ознакомление с основными элементами автомобильной дороги и основами строительства оснований и покрытий – от возведения земляного полотна до устройства дорожных одежд различных типов.

Автомобильная дорога – это комплекс линейных и сосредоточенных транспортных сооружений с технико-экономическими параметрами, обеспечивающими безопасные и экономичные условия движения транспортных средств с расчетными скоростями и нагрузками круглый год в течение заданного периода эксплуатации.

Протяженность автомобильных дорог в Республике Беларусь в настоящее время составляет более 70 000 км, в том числе дорог с твердым покрытием – 15 400 км, местных – 55 000 км. Среднесуточная интенсивность движения на республиканских магистралях составляет 1 500...12 000 авт./сут, на основных дорогах – 1 000...4 000 авт./сут. Количество легкового транспорта в составе потока колеблется от 40 до 85 %. На транзитных маршрутах доля автопоездов находится в пределах 5...35 %, а всего по дорогам республики в год проходит до 700 000 автопоездов.

Цели и задачи развития сети автомобильных дорог сформулированы в Государственной программе «Дороги Беларуси на 1997–2005 гг.». В программе определены основные приоритеты развития сети:

- 1) содержание сети автомобильных дорог и поддержание ее надежности на уровне современных требований;
- 2) обеспечение устойчивыми транспортными связями 10 500 населенных пунктов, в которых проживает 500 тыс. человек, путем ликвидации грунтовых участков местных дорог;
- 3) улучшение транспортно-эксплуатационного состояния существующих автомобильных дорог и, в первую очередь, повышение надежности дорожных покрытий;
- 4) реконструкция наиболее грузонапряженных участков дорог, строительство объездов городов.

Прежде чем изучать вопросы строительства, необходимо ознакомиться с основными элементами автомобильной дороги, ее конструкцией в поперечном разрезе, с продольным профилем, а также с планом в горизонталях.

Дорожная конструкция – это система, включающая дорожную одежду и земляное полотно. **Дорожная одежда** представляет собой многослойную конструкцию, предназначенную для перераспределения давления на грунт от действия транспортной нагрузки. Прочность материала дорожной одежды постепенно снижается по мере удаления от поверхности дорожного полотна.

В конструкции дорожной одежды различают следующие слои:

- 1) покрытие;
- 2) основание;
- 3) дополнительный (подстилающий) слой.

Эти части дорожной одежды, в свою очередь, могут состоять из одного или нескольких слоев различных материалов.

Земляное полотно – это дорожное сооружение, служащее основанием для размещения конструктивных слоев дорожной одежды и других элементов дороги. Земляное полотно строят в виде насыпей или выемок из грунтов, удовлетворяющих требованиям прочности, плотности, фильтрации.

Дорожное основание представляет собой несущую часть дорожной одежды, которая вместе с покрытием обеспечивает распределение и передачу нагрузки на грунт земляного полотна.

Дорожное покрытие – это верхний, наиболее прочный слой дорожной одежды, воспринимающий непосредственное воздействие нагрузки, атмосферных факторов и определяющий основные транспортно-эксплуатационные качества дороги. Его устраивают одно-, двух- или трехслойным. Покрытия могут относиться к низшему, облегченному, переходному и капитальному типам. **Покрытие низшего типа** устраивают из грунтов, улучшенных добавками гравия, шлака. **Покрытие переходного типа** устраивают из щебеночного или гравийного материала, а также из грунтов, укрепленных вяжущими веществами. **Облегченное покрытие** устраивают из асфальтобетонных смесей, смесей на основе эмульсий, слоев по методу пропитки и смешения на месте. **Покрытия капитального типа** устраивают из цементобетона и горячего асфальтобетона.

При дорожном строительстве тесно взаимосвязаны технология производства и организация работ. *Технология производства* отражает способы, приемы и последовательность выполнения технологического процесса. *Организация работ* представляет собой увязку всех имеющихся ресурсов во времени. Дорожное строительство объединяет комплекс всех видов работ, выполняемых при строительстве автомобильных дорог, мостовых и других инженерных сооружений, дорожных линейных зданий.

В соответствии с рассмотренными общими терминами и положениями можно дать определение технологии дорожного строительства как раздела науки о механических, химических и других способах и процессах обработки материалов и изделий (технологических процессах), в результате которых создаются отдельные элементы дороги и сама дорога в целом. Решение проблем технологии строительства дорог возможно на основе широкого использования современных дорожно-строительных машин, которые могут обеспечивать высокие темпы и качество работ при наименьшей стоимости.

Представленный материал ориентирован на программу курса по специальности 1-36 11 01 и соответствует требованиям к изучению дисциплины «Технология дорожного строительства».

Авторы выражают благодарность заведующему кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» д-ру техн. наук проф. И.И.Леоновичу, заведующему кафедрой «Строительные и дорожные машины» д-ру техн. наук, проф. А.В.Вавилову, заведующему кафедрой «Проектирование дорог» канд. техн. наук, доценту И.К.Яцевичу за советы и методическую помощь в подготовке издания.

1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

1.1. Классификация автомобильных дорог

Автомобильная дорога – это комплекс инженерных сооружений, предназначенных для движения автомобилей. В зависимости от интенсивности их движения автомобильные дороги подразделяют на 5 категорий (СНиП 2.05.02-85) (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Классификация автомобильных дорог

Категория дороги	Расчетная интенсивность движения, авт./сут		Административное значение автомобильной дороги
	приведенная к легковому автомобилю	в физических единицах	
I а	> 14000	> 7000	Магистральные автомобильные дороги общегосударственного значения (в том числе для международного сообщения)
I б	> 14000	> 7000	Автомобильные дороги общегосударственного значения, не отнесенные к категории I а
II	14000...6000	7000...3000	Автомобильные дороги общегосударственного, республиканского и областного значения
III	6000...2000	3000...1000	Автомобильные дороги общегосударственного, республиканского и областного значения (не отнесенные к категориям I б и II), дороги местного значения
IV	2000...200	1000...100	Автомобильные дороги республиканского, областного и местного значения (не отнесенные к категориям I б, II, III)
V	< 200	< 100	Автомобильные дороги местного значения (кроме отнесенных к категориям III и IV)

Автомобильные дороги I категории подразделяют на два вида:

I а – скоростные дороги (автомобильные магистрали), проходящие в обход городов и населенных пунктов. Имеют пересечение с

автомобильными и железными дорогами только в разных уровнях. Транспортные развязки на них должны обеспечивать въезд и выезд без пересечения потоков движения в одном уровне.

I б – подъезды к крупным транспортным узлам, туристским центрам, предназначенные для движения автомобилей с высокими скоростями. Имеют пересечения в различных уровнях с дорогами II и III категории и с железными дорогами; вместе с тем, допускается примыкание дорог III категории в одном уровне.

Интенсивность движения – это количество автомобилей и других транспортных средств, проходящих через определенное сечение дороги в обоих направлениях в единицу времени (час, сутки).

Расчетная интенсивность – это среднегодовая суточная интенсивность движения на последний год перспективного периода, установленного для дорог общей сети равным 20 годам. Расчетная интенсивность в физических транспортных единицах принимается в случае, когда легковые автомобили составляют менее 30% общего транспортного потока. Для приведения интенсивности движения транспортных средств к легковому автомобилю существуют **коэффициенты приведения** [1], которые изменяются от 0,5 – для мотоциклов до 6,0 – для автопоездов грузоподъемностью свыше 30 т.

Автомобильные дороги I...II категорий прокладывают в обход населенных пунктов с устройством подъездов к ним. Когда по технико-экономическим расчетам установлена целесообразность проложения дорог I...III категорий через населенные пункты, их проектируют в соответствии с требованиями СНиП.

Основным нормативным документом на проектирование автомобильных дорог являются Строительные нормы и правила "Автомобильные дороги" (СНиП 2.05.02-85), которые распространяются на вновь строящиеся и реконструируемые автомобильные дороги и не распространяются на проектирование временных (сооружаемых на срок службы менее 5 лет) внутрихозяйственных дорог.

Искусственные сооружения на автомобильных дорогах проектируют в соответствии с требованиями Строительных норм и правил "Мосты и трубы" (СНиП 2.05.03-84).

Автомобильные дороги общего пользования предназначены для пропуска автотранспортных средств с осевыми нагрузками: до 100 кН – по дорогам I...IV категорий, до 60 кН – по дорогам V категории.

Поскольку интенсивность движения зависит от скорости транспортных средств, для проектирования элементов дороги (плана, продольного и поперечного профилей) принимают **расчетные скорости**, т.е. максимальную скорость одиночных автомобилей, обеспечивающую безопасность движения при нормальных погодных условиях. Основные расчетные скорости составляют от 150 км/ч – для категории I а до 60 км/ч – для категории V.

1.2. Обоснование строительства автомобильных дорог

Дороги строят в соответствии с утвержденной проектно-сметной документацией – **проектом** дороги. Чтобы собрать материал, необходимый для составления проекта, следует выполнить работы, называемые **изысканиями**.

Различают 2 вида изысканий:

- 1) экономические (обследования);
- 2) технические.

С помощью *экономических* обследований определяют народнохозяйственное значение проектируемой дороги. Цель *технических* изысканий – изучение природных условий для выбора наивыгоднейшего направления дороги, закрепления трассы на местности, вычисления объема и стоимости работ.

По результатам проведенных изысканий составляют обоснования проекта:

- 1) технико-экономическое;
- 2) топографо-геодезическое;
- 3) инженерно-геологическое;
- 4) инженерно-гидрометеорологическое.

1.2.1. Техничко-экономическое обоснование

Техничко-экономическое обоснование определяет проектную мощность и очередность строительства автомобильной дороги, позволяет выбрать наиболее эффективное проектное решение и схему организации строительства, определить потребность в материалах, машинах и механизмах.

Техничко-экономическое обоснование состоит из следующих разделов:

1. **Транспортно-экономическая характеристика** района тяготения автомобильной дороги, включающая анализ размещения и развития транспортной сети, развития экономики района, взаимодействия различных видов транспорта.

2. **Анализ современного состояния существующей дороги** с указанием ее протяженности, категории, числа полос движения, типа покрытия, наличия коммуникаций и искусственных сооружений, эксплуатационных показателей.

3. **Характеристика природных условий** строительства, включающая климат, рельеф, гидрографию, характеристику почв, грунтов, растительности.

4. **Обоснование мощности дороги**, отражающее грузо- и пассажиропотоки, объемы перевозок, движение на примыканиях и пересечениях.

5. **Сравнение и выбор конкурентоспособного варианта** по минимуму приведенных затрат.

6. **Основные проектные решения** по рекомендуемому варианту, отражающие особенности наиболее сложных участков трассы, необходимость переустройства коммуникаций и включающие решения по земляному полотну, дорожной одежде, искусственным сооружениям, пересечениям, обстановке дороги, обеспечению безопасности движения.

7. **Очередность строительства**, определяющая последовательность работ и рекомендации по выделению пусковых комплексов.

8. **Организация строительства**, отражающая сроки и объемы строительно-монтажных работ, потребность в материально-технических ресурсах, технологию строительных работ, соответствующую новейшим достижениям отечественной и зарубежной науки и техники.

9. **Стоимость строительства**, объединяющая сводные сметные расчеты с учетом резерва и затрат на охрану окружающей среды.

10. **Охрана окружающей среды**, включающая мероприятия по рекультивации отчуждаемых земель, шумозащите, предупреждению загрязнения почв и водоемов.

11. **Эффективность капитальных вложений**, заключающаяся в сравнении текущих затрат на реализацию проектных решений по рекомендуемому варианту при сохранении существующего положения на перспективу.

1.2.2. Топографо-геодезическое обоснование проекта

Земная поверхность представляет собой чередование выпуклых, вогнутых и равнинных участков. Каждая точка поверхности имеет свое высотное положение относительно уровня моря. Для Республики Беларусь все геодезические отметки представляют собой высотное положение относительно уровня Балтийского моря и находятся в пределах от 346 м (самая высокая точка – гора Дзержинская) до 80 м (низовье реки Неман). Высота дневной поверхности составляет в среднем 159 м над уровнем моря. Низменные пространства (3/5 территории) находятся на абсолютных отметках 100...150 м, равнинные – 150...220 м [2].

Все точки земной поверхности с известными координатами их планового и высотного положения объединяются и создают *геодезические опорные сети*, которые подразделяются на:

- 1) государственную геодезическую плановую сеть;
- 2) геодезическую сеть сгущения;
- 3) съемочные сети.

Государственная геодезическая плановая сеть создается методом триангуляции определенной плотности и точности.

Геодезические сети сгущения прокладываются для обоснования топографических съемок масштабов 1:5000...1:500 и инженерно-геодезических работ.

Съемочные сети являются непосредственной основой съемок разных масштабов; прокладываются вдоль трассы дороги в виде теодолитного хода. Привязку точек теодолитных опорных ходов в плане к пунктам геодезической сети производят для получения координат этих точек и для контроля линейных и угловых измерений, выполненных вдоль съемочных опорных ходов, прокладываемых по трассам дорог.

В подготовительный период в камеральных условиях на топографических картах (масштаб 1:10000...1:25000) и планах аэрофотосъемки трассируют основное направление и конкурирующие варианты с учетом характера местности, расположения границ землепользования, сети существующих дорог, а также учета контрольных точек – целесообразных мест для пересечения рек, железных дорог, обхода озер, болот, оврагов, холмов и т.д.

После завершения подготовительных работ происходит *перенесение проекта дороги в натуру* с детальной разбивкой сооружения и привязкой к опорной геодезической сети. Геодезические разбивочные работы являются неотъемлемой частью строительного процесса. При перенесении запроектированной трассы в натуру по исходным данным, полученным на ЭВМ, точность работ резко повышается. Процесс перенесения проекта в натуру предусматривает размещение контуров сооружения и его основных осей относительно элементов окружающей местности.

1.2.3. Инженерно-геологическое обоснование проекта

Инженерно-геологическое обоснование заключается в изучении почвенно-грунтовых условий полосы варьирования в объеме, необходимом для оценки и выбора рекомендуемого направления. Объем и характер изысканий зависит от сложности природных условий и степени изученности района. В процессе инженерно-геологических изысканий производится:

- 1) изучение геологического строения и определение границ распространения различных грунтов;
- 2) изучение грунтов с целью их использования в качестве основания и материала для земляного полотна и фундаментов сооружений;
- 3) поиск и предварительная разведка месторождений строительных материалов, а также грунта для отсыпки насыпи.

По трассам намеченных вариантов закладывают на характерных элементах рельефа *шурфы* и *скважины*. Образцы грунтов отбирают из всех выработок и в лабораторных условиях определяют классификационные показатели (гранулометрический состав, пластичность, естественную и оптимальную влажность, максимальную плотность). На основе полученных данных составляют:

- 1) инженерно-геологические карты полосы варьирования в масштабе 1:10000...1:17000;
- 2) карты-схемы расположения месторождений строительных материалов;
- 3) сокращенный геолого-литологический разрез и продольный профиль;
- 4) ведомости неблагоприятных участков;

5) ведомости обследованных месторождений грунтов и строительных материалов.

1.2.4. Инженерно-гидрометеорологическое обоснование проекта

Основными задачами *инженерно-гидрометеорологических обоснований* проекта являются: характеристика гидрометеорологических условий района изысканий для выбора трассы автомобильной дороги; выбор типа переходов через водотоки, обоснование их количества и местоположения; обоснование генеральных размеров искусственных сооружений на водотоках, регуляционных и укрепительных сооружений; подготовка исходных данных для проектирования системы поверхностного водоотвода.

В зависимости от типа дорожных сооружений различают инженерно-гидрометеорологические обоснования: малых водопропускных сооружений (труб, малых мостов); мостовых переходов, земляного полотна (на неподтопляемых и подтопляемых участках местности); системы поверхностного водоотвода (максимальный сток ливневых вод). Все виды обоснований основываются на данных, полученных при выполнении работ: морфометрических (по определению характеристик русла и берегов реки), гидравлических (уровней, скорости течения и расхода воды), метеорологических (направления и скорости ветра, толщины снегового покрова).

1.3. Геометрические элементы автомобильной дороги в поперечном профиле

Поперечным профилем называют сечение дороги вертикальной плоскостью, перпендикулярной к ее продольной оси, представленное на чертеже. В зависимости от рельефа местности дорогу размещают выше поверхности земли – в насыпи – или ниже ее поверхности – в выемке (рис. 1.1).

Полосу дороги, в пределах которой движутся автомобили, называют *проезжей частью*. Ее укрепляют различными материалами, создавая на всем протяжении дорожную одежду в виде прочной многослойной конструкции определенной толщины.

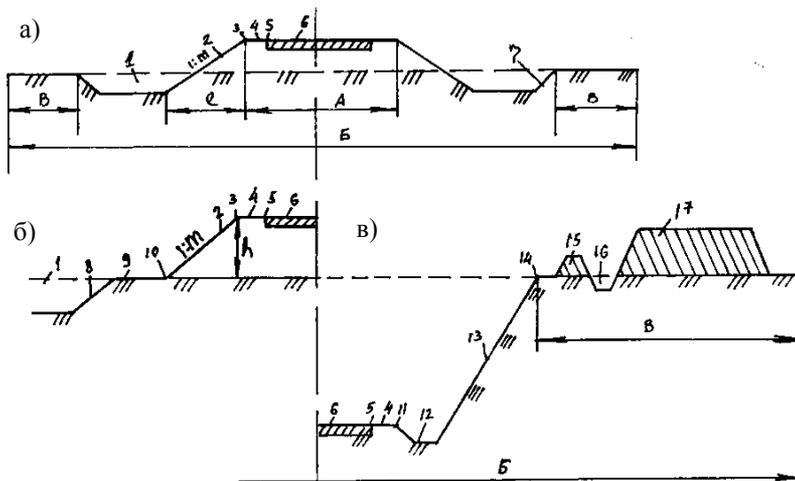


Рис. 1.1. Основные элементы дороги в поперечном профиле:

а – в невысокой насыпи; б – в высокой насыпи; в – в выемке; А – земляное полотно; Б – полоса отвода; В – обрез; l – заложение откоса; h – высота откоса; 1 – притрассовый резерв; 2 – откос; 3 – бровка насыпи; 4 – обочина; 5 – кромка; 6 – проезжая часть; 7 – внешний откос резерва; 8 – откос резерва; 9 – берма; 10 – подошва откоса насыпи; 11 – нижняя бровка выемки; 12 – кювет; 13 – откос выемки; 14 – верхняя бровка выемки; 15 – банкет; 16 – забанкетная канава; 17 – кавальер

Прилегающие к проезжей части полосы называют **обочинами**. Они создают боковой упор для дорожной одежды и используются для временной стоянки транспортных средств.

Насыпь – инженерное сооружение из насыпного грунта, в пределах которого вся поверхность земляного полотна расположена выше уровня земли.

Проезжая часть и обочины, располагаемые в верхней части насыпи, примыкают к прилегающей местности правильно спланированными наклонными плоскостями – **откосами**. Крутизна откосов назначается в зависимости от высоты насыпи или глубины выемки из соображений незаносимости снегом земляного полотна, гармоничного сочетания с прилегающим ландшафтом, обеспечения безопасности движения, устойчивости откосов и экономической целесообразности.

Откосы могут иметь переменную крутизну, при этом для обеспечения устойчивости на откосах высоких насыпей и глубоких выемок могут устраиваться горизонтальные или слегка наклонные полки (шириной 2...3 м), называемые *бермами*. Крутизна откоса характеризуется *коэффициентом заложения*, который определяется как отношение высоты откоса h к его горизонтальной проекции – заложению l .

В боковых канавах различают внутренний и внешний откос. Линию сопряжения поверхности обочин и откосов насыпи называют *бровкой*, расстояние между бровками – *шириной земляного полотна*. По бровке определяют рабочую отметку земляного полотна.

Резерв – это территория, отводимая для разработки грунта неглубокими выработками правильной формы, из которой грунт используют для отсыпки насыпи автомобильной дороги. Резерв закладывают вблизи строящейся дороги непосредственно у основания насыпи с одной или двух ее сторон либо с нагорной стороны, а в случае невозможности этого – вдали от дороги на определенном участке сосредоточенного грунтового карьера.

Выемка – это земляное сооружение, выполненное путем срезки естественного грунта по заданному профилю; при этом поверхность земляного полотна располагается ниже поверхности земли.

Боковая канава (кювет) – это канава с поперечными сечениями лоткового, треугольного или трапециевидного профиля, располагаемая вдоль земляного полотна, предназначенная для сбора и отвода поверхностных вод, стекающих с проезжей части и окружающей местности. По назначению и конструкции боковые канавы могут быть нагорные, перехватывающие и поперечные.

Нагорная канава отрывается с нагорной стороны дороги для перехвата стекающей по склону воды и отвода ее от дороги.

Перехватывающая канава сооружается в виде сети канав, прокладываемых под острым углом к направлению движения оползня, с бетонированием их дна и стенок.

Поперечная канава сооружается для отвода воды при ожидаемом большом ее скоплении и спуска из боковых канав в сторону от земляного полотна.

Банкет – это сооружение правильной формы (трапециевидного или треугольного сечения) из грунта, отсыпаемого вдоль верхней

бровки выемки для ограждения и защиты ее откосов от размыва поверхностными водами.

Кавальер – земляное сооружение правильной формы, образуемое вдоль дороги при разработке выемки в отвал.

Полоса отвода – полоса земли, на которой размещаются автомобильная дорога и все ее сооружения. Нормируется в зависимости от категории дороги.

Обрез – часть полосы отвода, заключенная между подошвой насыпи (внешней бровкой выемки) и границей полосы отвода.

На автомагистралях проезжую часть устраивают отдельно для обеспечения движения автомобилей в каждом направлении, предусматривая сооружение между ними **разделительной полосы**. Для обеспечения стока воды с верхней части земляного полотна проезжей части обочинам придают **поперечные уклоны** в обе стороны от оси дороги (при двускатном профиле) или в одну сторону (при одностатном профиле). Поперечные и продольные уклоны автомобильных дорог обозначаются в промилле (‰), т.е. в десятых долях процента. Поперечный уклон обочин должен быть на 10...30 ‰ больше уклона проезжей части. Поэтому при уклоне проезжей части 15...20 ‰ на дорогах с обочинами, укрепленными вяжущими веществами, поперечный уклон принимают 30...40 ‰; гравием, щебнем, шлаком или бетонными плитами, – 40...60 ‰; дерном или засеваем трав – 50...60 ‰.

Для автомобильных дорог общего пользования ширину проезжей части земляного полотна устанавливают в зависимости от категории дороги и расчетной интенсивности движения (табл. 1.2),

Таблица 1.2

Ширина проезжей части и земляного полотна

Показатели	Категория дорог					
	I а	I б	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7
Число полос движения	4; 6; 8	4; 6; 8	2	2	2	1
Ширина полосы движения, м	3,75	3,75	3,75	3,5	3,0	-
Ширина проезжей части, м	2?7,5 2?11,25 2?15	2?7,5 2?15	7,5	7,0	6	4,5

1	2	3	4	5	6	7
Ширина обочины, м	3,75	3,75	3,75	2,5	2	1,75
Наименьшая ширина укрепленной полосы обочины, м	0,75	0,75	0,75	0,5	0,5	-
Наименьшая ширина разделительной полосы между разными направлениями движения, м	6	5				
Наименьшая ширина укрепленной полосы на разделительной полосе, м	1	1				
Ширина земляного полотна, м	28,5 36,0 43,5	27,5 35,0	15	12	10	8

1.4. Элементы дороги в плане

Трассой автомобильной дороги называют ее продольную ось, проложенную по поверхности земли. Трассу дороги проектируют как плавную линию в пространстве со взаимной увязкой элементов плана, продольного и поперечного профилей между собой и окружающим ландшафтом. Для обеспечения плавности дороги необходимо соблюдение принципов ландшафтного проектирования.

Проектируя трассу на горизонтальную плоскость, получают ее *план*, состоящий из отрезков прямых линий, соединенных *круговыми кривыми*, смягчающими переломы трассы. На криволинейных участках для плавного перехода с прямой на кривую и наоборот при радиусах кривых не более 3000 м для дорог I категории и не более 2000 м – для дорог общего пользования остальных категорий предусматривают *переходные кривые* (рис. 1.2).

Каждая круговая кривая характеризуется:

- 1) углом поворота α ;
- 2) радиусом R ;
- 3) тангенсом – отрезком прямой, соединяющим вершину угла поворота трассы с началом (НК) или концом (КК) кривой:

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad (1.1)$$

4) биссектрисой – отрезком прямой, соединяющим вершину угла поворота трассы с серединой кривой:

$$B = R(\sec \frac{\alpha}{2} - 1); \quad (1.2)$$

5) длиной

$$K = R \frac{\pi \alpha}{180}. \quad (1.3)$$

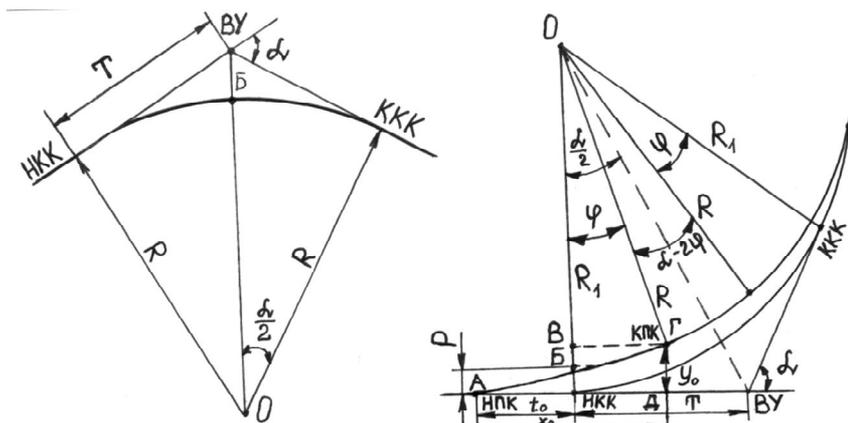


Рис. 1.2. Элементы круговой (а) и переходной (б) кривых

Между длиной трассы по тангенсам и кривой существует связь, выражаемая через домер:

$$D = 2T - K. \quad (1.4)$$

При устройстве переходных кривых сокращается длина основной круговой, при этом ее центральный угол α будет меньше на величину 2ϕ :

$$\alpha_0 = \alpha - 2\phi; \quad \phi = \frac{L}{2R_1}. \quad (1.5)$$

где ϕ – угол в радианах, определяемый из выражения (1.5);

L – длина переходной кривой;

R_1 – радиус круговой кривой, отличающийся от первоначального радиуса на величину P (см. (1.6)).

Следовательно, переходную кривую можно применять, если угол поворота α равен или больше суммы углов поворота переходных кривых, т.е. $\alpha > 2\varphi$. При $\alpha = 2\varphi$ длина круговой кривой равна нулю, а две переходные кривые смыкаются друг с другом.

При применении переходных кривых происходит сдвигка круговой кривой в сторону ее центра на величину P :

$$P = y_0 - R_1(1 - \cos \varphi). \quad (1.6)$$

Кроме этого, происходит смещение начала закругления после вписывания переходных кривых на величину t :

$$t = x_0 - R_1 \sin \varphi, \quad (1.7)$$

где y_0, x_0 — координаты точки в конце переходной кривой, которые находят по таблицам.

Новые элементы кривой

$$T_1 = (R_1 + P) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad B_1 = (R_1 + P) \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) \text{ и т.д.} \quad (1.8)$$

Переходная кривая представляет собой *клотоиду*, т.е. кривую, кривизна которой возрастает обратно пропорционально ее длине.

При назначении элементов плана рекомендуется применять радиусы кривых не менее 3000 м. Предельные цифры для проектирования плана зависят от скорости движения автомобиля. Наименьший радиус кривых в плане составляет: для скорости 150 км/ч – 1200 м; для скорости 80 км/ч – 300 м; для скорости 40 км/ч – 60 м.

1.5. Элементы продольного профиля

Продольный профиль дороги – это проекция оси дороги на вертикальную плоскость, изображаемая на отдельном чертеже и развернутая в плоскость чертежа.

Продольный профиль – один из основных документов, по которому осуществляется строительство автомобильной дороги. На него наносят:

- 1) линию поверхности земли (черную линию) и высотные отметки ее точек;
- 2) проектную линию земляного полотна (красную линию), ее уклоны и высотные отметки;
- 3) разрез грунта по оси дороги с указанием мест заложения шурфов и скважин, характера и мощности грунтовых напластований, уровня грунтовых вод;
- 4) расположение и основные характеристики водоотводных сооружений;
- 5) данные для постройки водоотводных каналов и углубленных кюветов, типы их укрепления;
- 6) пикетаж и положение характерных (плюсовых) точек;
- 7) развернутый план трассы и ситуацию на полосе (по 50 м в каждую сторону от оси дороги);
- 8) типы конструкций дорожной одежды и земляного полотна.

Для большей наглядности продольный профиль вычерчивают в двух масштабах: горизонтальном – 1:5000, вертикальном – 1:500. Вертикальный масштаб геологического разреза должен быть 1:50. Пример оформления продольного профиля приведен на рис. 1.3.

Высота насыпи и глубина выемки в любой точке определяется разностью между значениями проектной отметки и отметки уровня земли, называемой **рабочей отметкой**.

Численное значение **уклонов** проектной линии вычисляется как отношение превышения одной точки над другой к расстоянию между этими точками:

$$i = \frac{H_A - H_B}{L}, \quad (1.9)$$

где H_A и H_B – отметки местности в точках А и Б, м;

L – расстояние между точками А и Б, м.

До нанесения проектной линии на продольном профиле нужно определить местоположение всех искусственных сооружений, которые будут являться своеобразными контрольными точками.

Дорогу целесообразнее прокладывать в насыпи, что будет способствовать лучшему водоотводу, скорейшему просыханию земляного полотна и меньшей заносимости снегом.

В местах сопряжения прямых участков продольного профиля устраивают **вертикальные кривые** (выпуклые или вогнутые), которые обеспечивают необходимую видимость на дороге и создают условия для плавного движения автомобилей.

Радиус вертикальной вогнутой кривой определяется из выражения

$$R_{\text{вог}} \geq 7,1 V^2, \text{ м}, \quad (1.10)$$

где V – скорость движения, м/с².

Радиус вертикальной выпуклой кривой определяется из выражения

$$R_{\text{вып}} = \frac{S_{\text{вид}}^2}{2d}, \text{ м}, \quad (1.11)$$

где $S_{\text{вид}}$ – расстояние видимости;

d – возвышение глаза водителя над поверхностью дороги, $d \cong 1,2$ м.

Наименьшее значение вертикальных кривых составляет: для расчетной скорости 150 км/ч: выпуклых – 30000 м, вогнутых – 8000 м; для расчетной скорости 80 км/ч: 5000 м; 2000 м; для расчетной скорости 40 км/ч: для обеих кривых – 1000 м.

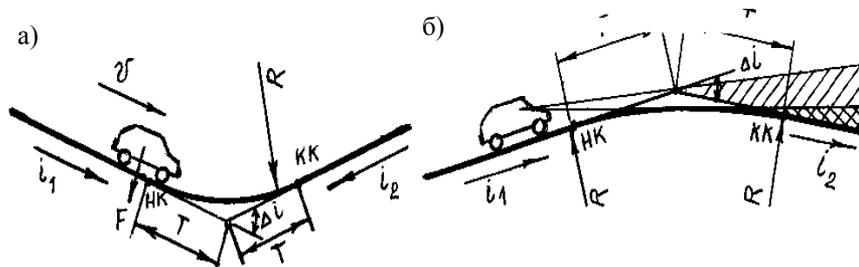


Рис. 1.4. Вертикальная вогнутая (а) и выпуклая (б) кривые продольного профиля

Для аналитического расчета [3] вертикальных кривых (рис.1.4) используют формулы:

1) длина вертикальной кривой

$$K = R\Delta i, \text{ м}, \quad (1.12)$$

где Δi – алгебраическая разность сопрягаемых уклонов;

2) тангенс вертикальной кривой

$$T \approx \frac{K}{2}, \text{ м}, \quad (1.13)$$

3) биссектриса вертикальной кривой

$$B \cong \frac{T^2}{2R}, \text{ м}. \quad (1.14)$$

Совершенная вычислительная техника дает возможность быстрого и рационального проектирования продольного профиля на ЭВМ.

По данным продольных и поперечных профилей подсчитывают объемы земляных работ, необходимые для составления плана организации работ и сметы.

В соответствии с требованиями СНиП 2.05.02-85 продольный профиль автомобильных дорог проектируют из условия наименьшего ограничения и изменения скорости, обеспечения безопасности движения, удобства водоотвода и наилучшей защиты от снежных заносов.

При назначении элементов продольного профиля в качестве основных параметров рекомендуется принимать:

- 1) продольный уклон – не более 30 %;
- 2) расстояние видимости поверхности дороги – не менее 450 м;
- 3) радиусы кривых в продольном профиле: выпуклых – не менее 70000 м, вогнутых – не менее 8000 м;
- 4) длина кривых: выпуклых – не менее 300 м; вогнутых – не менее 100 м.

Переломы проектной линии продольного профиля сопрягают кривыми при алгебраической разности уклона 5‰ и более – на дорогах I, II категорий, 10‰ и более – на дорогах III категории, 20‰ и более – на дорогах IV и V категорий.

1.6. Виражи и серпантины

Вираж – это односкатный профиль проезжей части с уклоном к центру кривой, устраиваемый на кривых малого радиуса для повышения устойчивости автомобиля. В соответствии со СНиП 2.05.02-85, устройство виражей предусмотрено на всех кривых в плане для дорог I категории при радиусах менее 3000 м и на дорогах остальных категорий – при радиусах менее 2000 м.

Основными параметрами виража являются:

- 1) поперечный уклон односкатного профиля проезжей части;
- 2) протяженность участка с односкатным профилем;
- 3) длина отгона виража (участка, на котором происходит переход от двускатного профиля к односкатному и наоборот).

Выбор значений этих параметров зависит от расчетной скорости, радиуса кривой и ее центрального угла, ширины проезжей части.

Уклон виража (рис. 1.5) назначают не менее поперечного уклона покрытия на участках с двускатным профилем и не более 60‰.

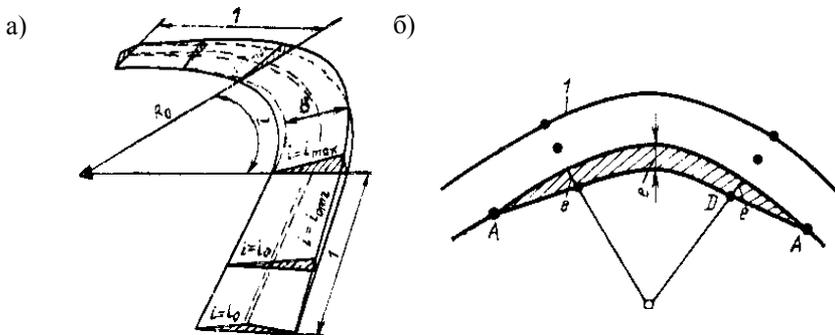


Рис.1.5. Схема устройства виража (а) и уширения проезжей части (б)

Переход от двускатного профиля дороги к односкатному осуществляется на протяжении переходной кривой. Поперечный уклон обочин на вираже принимают одинаковым с уклоном проезжей части.

Отгон виража – это примыкающий к виражу участок дороги, на котором осуществляется переход от двускатного профиля к односкатному:

$$L_{\text{отв}} = \frac{B \cdot i_{\text{в}}}{i_{\text{отв}}}, \quad (1.15)$$

где B – ширина проезжей части дороги без уширения, м;

$i_{\text{в}}$ – уклон виража;

$i_{\text{отв}}$ – уклон отгона виража, $i_{\text{отв}} = 0,01 - 0,02$.

Если уклон проектируемого виража превышает поперечный уклон проезжей части, то проезжую часть после создания односкатного поперечного профиля условно вращают вокруг ее внутренней кромки до тех пор, пока не будет достигнут проектный поперечный уклон. Длина участка дороги, на котором размещен отгон виража, должна быть такой, чтобы обеспечивался плавный переход от двухскатного профиля к односкатному. Для этого отгон совмещают с переходной кривой.

При движении по кривой автомобиль занимает на проезжей части большую ширину, чем по прямой [4]. Вследствие этого проезжую часть на кривых необходимо уширять. При радиусах кривых в плане 1000 м и менее необходимо предусматривать уширение с внутренней стороны за счет обочин с тем, чтобы оставшаяся ширина обочин была не менее 1,5 для дорог I и II категорий. При недостаточной ширине обочин для размещения уширения проезжей части необходимо уширение земляного полотна.

В зависимости от радиуса кривых в плане и длины автомобилей и автопоездов величина уширения может достигать величины 3,5 м.

В пределах круговой кривой уширение должно иметь полную величину. Отвод уширения выполняют на длине переходной кривой (рис. 1.4), при этом уширение проезжей части увеличивается пропорционально расстоянию от начала переходной кривой. В результате полное значение уширения достигается к началу круговой кривой.

При проектировании дорог в горной местности с целью смягчения больших продольных уклонов на затяжных участках крутых склонов трассу разбивают в виде зигзагообразной линии с острыми внутренними углами. В таких случаях предусматриваются сложные закругления, называемые серпантинами.

Серпантина – вид кривой в плане, описываемой с внешней стороны угла поворота трассы между двумя ее направлениями, сходящимися под острым углом [5]. Серпантина представляет собой кри-

вую K , огибающую с внешней стороны центральный угол α двумя вспомогательными (как правило, обратными) кривыми K_0 и вставками m между основной и вспомогательной кривой, необходимыми для размещения переходных кривых, отгонов виражей и уширения проезжей части (рис. 1.6).

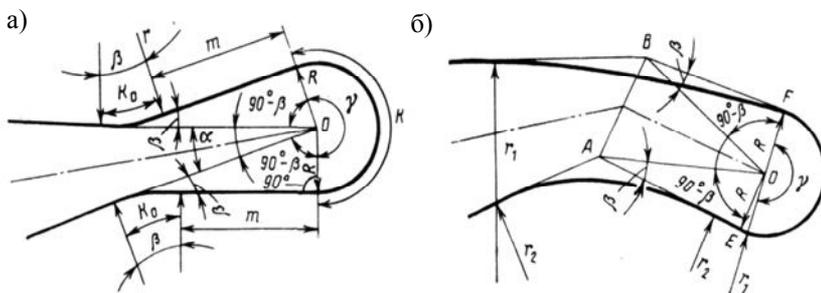


Рис. 1.6. Схема серпантины:
а – симметричной; б – несимметричной

Для устройства серпантин выбирают наиболее пологие и устойчивые склоны местности при обязательном приспособлении к ее рельефу.

При расчетах элементов серпантины задают радиусы основной R и вспомогательных r кривых, длину вставки m .

Длина основной и вспомогательной кривой

$$K = \frac{\pi R \gamma}{180}; \quad K_0 = \frac{\pi r \beta}{180}. \quad (1.16)$$

Серпантины устраивают на автомобильных дорогах II...V категорий, причем расстояние между концом вспомогательной кривой одной серпантины и началом кривой другой принимают не менее 400 м – для дорог II и III категорий, 300 м – для дорог IV категории и 200 м – для дорог V категории. Расчетные скорости на серпантинах 15...20 км/ч допускают лишь в особо стесненных условиях на автомобильных дорогах IV и V категорий.

1.7. Искусственные сооружения на автомобильных дорогах

Неотъемлемой частью любой автомобильной дороги являются **искусственные сооружения**, которые определяют беспрепятственное движение автомобилей в любое время года.

Среди основных искусственных сооружений различают большие и средние мосты, малые мосты и трубы и другие виды инженерных конструкций (эстакады, путепроводы, галереи, дамбы, тоннели, подпорные стенки и т.д.). Большие и средние мосты строятся специализированными мостостроительными организациями, а малые мосты и трубы – дорожно-строительными организациями по типовым проектам в соответствии с требованиями СНиП 2.05.03-84.

Мост – это искусственное сооружение, состоящее из опор и перекрывающих пространство между опорами пролетных строений, устраиваемое в местах пересечения дорогой рек, каналов и других водных преград [6]. К малым мостам относятся сооружения длиной до 25 м, к средним – 25...100 м, к большим – более 100 м.

В комплекс сооружений мостовых переходов входят: мост; подходы к нему в виде грунтовых насыпей, периодически подтопляемые в паводки; регуляционные и укрепительные сооружения, предохраняющие мост от критического воздействия водного потока.

При проектировании мостовых переходов выполняют комплекс гидрологических, морфометрических гидравлических и русловых расчетов.

С помощью **гидрологических расчетов** определяют характеристики руслового процесса, а также расход воды и соответствующие ему уровни вероятных превышений.

При **морфометрических расчетах** определяются скорости течения воды, строится продольный профиль реки и оценивается распределение расчетного расхода воды между элементами живого сечения долины (руслом и поймами). При этом составляется характеристика бассейна, учитывающая тип растительности, степень залесенности и заболоченности, процент озерности, типы почв, рельеф местности и другие данные.

Площадь **бассейна** представляет собой часть территории, поверхностные воды с которой стекают к данному сооружению. Гра-

нища водосборной площади проходит по наивысшим точкам рельефа и называется *водораздельной линией*.

При *гидравлических и русловых расчетах* определяют гидравлический радиус, площадь сечения русла, смоченный периметр для каждого горизонта воды, на основании которых рассчитывают отверстия малых мостов.

Мосты имеют следующие конструктивные элементы (рис. 1.7):

- 1) береговую опору;
- 2) фундамент промежуточной опоры;
- 3) промежуточные опоры;
- 4) пролетные строения.

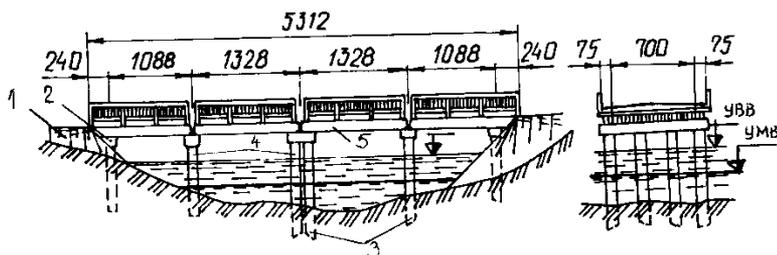


Рис. 1.7. Схема малого моста:

- 1 – земляное полотно; 2 – береговая опора; 3 – фундамент промежуточной опоры; 4 – промежуточная опора; 5 – пролетное строение

Уровень межених вод (УМВ), указанный на схеме, характерен для лета и зимы.

Мост как инженерное сооружение характеризуется высотой, длиной, шириной, подмостовым габаритом, началом и концом моста.

Высота моста – расстояние от наивысшей точки покрытия до уровня межених вод.

Длина моста – расстояние между началом и концом моста, измеренное по его оси.

Начало моста – первая по ходу отсчета километража точка пересечения линии, соединяющей концы открьлков устоя или пролетного строения с осью моста, без учета переходных плит.

Конец моста – последняя по ходу отсчета километража точка пересечения.

Ширина моста – расстояние между перилами в свету.

Габарит подмостовой – предельное перпендикулярное к направлению течения реки очертание границ пространства в пролете моста, внутрь которого не должны заходить элементы конструкций моста или расположенных под ним устройств.

Малые мосты и трубы возводят до отсыпки земляного полотна из железобетонных элементов, изготавливаемых заранее на заводах железобетонных изделий и доставляемых для сборки на место строительства.

Для малых мостов применяют сваечные и стоечные опоры на свайном основании. Для этого обычно используют железобетонные сваи сечением 30 x 35 или 35 x 35 см и длиной 6...12 м. Пролетные строения длиной до 12 м монтируют стреловыми кранами.

Кроме мостов, для преодоления водных преград существуют и другие инженерные сооружения, обеспечивающие дорожное движение через овраги, ущелья, пересечения городских улиц в различных горизонтах и т.д.

Путепровод – мостовое сооружение через автомобильную или железную дорогу.

Селедук – мостовое сооружение через горную дорогу, служащее для пропуска над ней селевого потока.

Акведук – мостовое сооружение на переходе через реку, суходол, являющееся частью водоотвода (канала или трубопровода).

Виадук – мостовое сооружение на переходе через глубокий овраг, ущелье, суходол, лощину с высоким расположением уровня проезда над дном препятствия.

Эстакада – многопролетное мостовое сооружение, возводимое взамен насыпи, при этом подэстакадное пространство используется для различных целей.

Труба – инженерное сооружение, укладываемое в теле насыпи автомобильной дороги для пропуска водного потока или скотопргона. Трубы различают:

- 1) по материалу тела трубы – бетонные, деревянные, железобетонные, каменные, металлические;
- 2) по форме поперечного сечения – круглые, прямоугольные, треугольные;
- 3) по числу очков – одно-, двух- и многоочковые;
- 4) по работе поперечного сечения – безнапорные, работающие на всем протяжении неполным сечением; напорные, работающие на

всем протяжении полным сечением; полунапорные, работающие вблизи входа полным сечением, а на остальном протяжении – неполным (рис. 1.8).

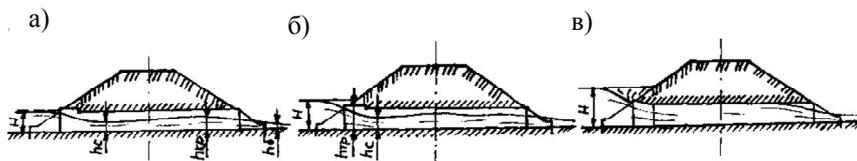


Рис. 1.8. Режимы протекания воды через трубы:
а – безнапорный; б – полунапорный; в – напорный

До возведения насыпи в расчетном сечении устраивают фундамент, на который укладывают звенья трубы и соединяют их между собой. На входе и выходе устраивают **оголовки** – элементы, замыкающие тело трубы, удерживающие откос насыпи по концам трубы и обеспечивающие необходимые условия входа водного потока в трубу и выхода из нее. Оголовки могут иметь откосные крылья, расположенные под углом к продольной оси трубы и удерживающие откос насыпи. По конструкции они бывают: порталные, раструбные, воротниковые и обтекаемые.

Труба характеризуется длиной и величиной отверстия.

Длина трубы – расстояние между наружными гранями входного и выходного оголовков.

Отверстие трубы – наибольший горизонтальный размер или сумма размеров (для многоочковых труб) тела трубы в свету.

1.8. Земляное полотно

Земляное полотно – это дорожное сооружение, служащее основанием для размещения конструктивных слоев дорожной одежды и других элементов дорог, воспринимающее от них нагрузку от подвижного транспорта, собственного веса и распределяющее эту нагрузку на основание.

Размеры земляного полотна зависят от категории дороги и превышения красной линии продольного профиля над окружающей местностью.

Основными элементами земляного полотна являются:

1) *верхняя часть земляного полотна (рабочий слой)* – зона глубиной, равной $\frac{2}{3}$ глубины промерзания, но не менее 1,5 м от верха покрытия; для выемок, участков с нулевыми отметками или низких насыпей в рабочий слой могут попадать грунты в природном залегании с ненарушенной структурой;

2) *откосная часть* – зона, ограниченная поверхностями откосов и вертикалями, проходящими через бровки насыпей или выемок, а снизу – основанием насыпи или выемки;

3) *ядро насыпи* – зона, расположенная ниже рабочего слоя и ограниченная снизу основанием насыпи, а с боков – вертикалями, проходящими через бровки насыпи;

4) *основание насыпи* – зона, расположенная под насыпью в пределах естественной грунтовой толщи; *основание выемки* – зона, расположенная ниже границы рабочего слоя [1] (рис. 1.9).

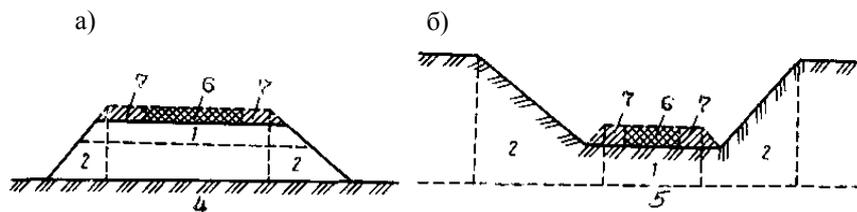


Рис. 1.9. Элементы земляного полотна:

а – насыпь; б – выемка; 1 – рабочий слой; 2 – откосные части; 3 – ядро насыпи; 4 – основание насыпи; 5 – основание выемки; 6 – дорожная одежда; 7 – обочина

Земляное полотно должно быть прочным и устойчивым. Его устраивают в виде насыпей или выемок. Геометрическая форма земляного полотна должна препятствовать снегозаносимости, а также отвечать требованиям безопасности движения.

Для обеспечения высокой прочности и устойчивости земляного полотна при его проектировании и строительстве предусматривают ряд мероприятий:

1) предохранение верхней части земляного полотна от избыточного увлажнения за счет придания его поверхности уклонов, а также защиты от проникновения воды через обочины;

2) предохранение земляного полотна от увлажнения снизу за счет его возвышения над уровнем грунтовых вод, устройства изоли-

рующих или капилляропрерывающих прослоек из укрепленных грунтов, нетканых или синтетических материалов и пленок; замены неблагоприятных грунтов в основании;

3) обеспечение своевременного отвода воды, скапливающейся в верхней части земляного полотна и в основании, путем устройства дренирующих слоев или дренажей [7].

Самыми уязвимыми местами земляного полотна являются откосы, поскольку они испытывают различные воздействия погодноклиматических факторов, подземных и текучих вод. Откосы насыпей могут быть подтопленные и неподтопленные. Конструкцию откосов выбирают на основе расчетов устойчивости [8] в связи с возникновением различных локальных деформаций в виде осыпей, оплывин, выносов, обрушений, размывов. Конструкции откосов могут предусматривать биологическую защиту откосов и конусов, укрепление их бетонными, железобетонными и асфальтобетонными конструкциями, устройство откосов из укрепленных грунтов или их защиту с помощью синтетических текстильных материалов [9].

В состав земляного полотна входят также система поверхностного водоотвода и специальные удерживающие конструкции, предназначенные для обеспечения устойчивости самого земляного полотна или склонов, на которых оно располагается.

1.9. Поверхностный и подземный дорожный водоотвод

Система дорожного водоотвода состоит из ряда сооружений, предназначенных для предотвращения переувлажнения земляного полотна, перехвата и отвода поступающей к нему воды. Водоотвод может быть поверхностный или подземный.

Поверхностный водоотвод устраивается в виде уклонов поперечного профиля, боковых канав (кюветов), водоотводных и нагорных канав, водопропускных сооружений.

Для отвода поверхностной воды поперечному профилю и дорожной одежде придают выпуклое очертание с уклоном от середины к обочинам при двускатном профиле. Чем меньше ровность поверхности покрытия, тем больший поперечный уклон ему придают, поскольку вода при стекании воспринимает сопротивление и может застаиваться в пониженных местах, просачиваться в покрытие и под него. На необходимость ограничения поперечного уклона в боль-

шую сторону оказывают влияние следующие факторы, связанные с безопасностью движения:

1) возможность сползания автомобиля при больших поперечных уклонах и скользкой поверхности дороги;

2) перегрузка внутренних колес при движении грузовых автомобилей со спаренными задними колесами посередине проезжей части, приводящая к повышенному износу шин и покрытия;

3) увеличение бокового увода автомобиля при поперечном уклоне, ухудшающее его управляемость, а следовательно, безопасность движения.

Обочинам придают больший поперечный уклон, чем покрытию, поскольку они устраиваются из другого материала, оказывающего большее сопротивление движению воды. Величина назначаемого уклона для обочин приведена в подразделе 1.3 данного издания.

На дорогах I и II категорий обочины должны быть укреплены на ширину не менее чем 0,75 м асфальтобетонными смесями, бетонными плитами, грунтами, укрепленными вяжущими материалами.

Поперечный профиль проезжей части обычно очерчивают по параболе или по двум наклонным прямым, сопряженным в средней части круговой вставкой длиной 2 м.

Для отвода воды от земляного полотна служат боковые, водоотводные, нагорные и осушительные каналы.

Боковые каналы (кюветы) устраивают в выемках или у насыпей с небольшими рабочими отметками. Им придают трапецеидальное сечение с шириной по дну 0,4...0,5 м и глубиной до 0,7...0,8 м, считая от бровки насыпи. Откосам каналов в выемках придают заложение 1:1,5, а у низких насыпей – 1:3 м.

При возведении земляного полотна в сухих местах с быстрым стоком поверхностных вод устраивают боковые каналы в виде треугольных лотков глубиной не менее 0,3 м с крутизной откосов 1:3.

В выемках, расположенных в гравелистых или щебенистых грунтах, устраивают трапецеидальные каналы глубиной не менее 0,3 м с откосами 1:1.

Вода из боковых каналов должна выводиться в пониженные места не реже чем через 500 м. Если дорога проходит по склону, для вывода воды из канавы, расположенной с нагорной стороны, под земляным полотном прокладывают трубы. В местах перехода из выемки в насыпь канавы отводят с нагорной стороны в резерв, а с низкой выводят на поверхность грунта в сторону от выемки.

Сечение **водоотводных канав** принимается равным сечениям тех каналов, из которых отводится вода. Для лучшего пропуска воды и уменьшения объемов земляных работ откосы водоотводных канав устраивают наибольшей крутизны, допустимой по условиям устойчивости грунтов.

Нагорным канавам придают трапециевидное поперечное сечение. Во избежание оползней на откосах выемки в местах переувлажнения грунтов расстояние нагорных канав от краев выемки должно быть не менее 5 м. На косогорах с уклоном 1:5 грунт из нагорных канав используется для устройства невысокого валика (банкета) между выемкой и нагорной канавой, предохраняющей дорогу от затопления при переполнении нагорной канавы.

При течении воды по канавам со скоростью, меньшей 0,4...0,5 м/с, взвешенные в воде грунтовые частицы выпадают в осадок и образуют отложения наносов. Для предотвращения этого канавам придают продольный уклон, который во 2-й дорожно-климатической зоне, к которой относится Беларусь, должен быть не менее 5‰.

Подземный водоотвод устраивают для предотвращения действия грунтовых вод на земляное полотно. Для этого сооружают подстилающие (дренирующие) слои дорожной одежды, дренажные воронки и закрытый дренаж.

Дренирующий слой дорожной одежды (рис. 1.10) устраивают из песка, гравия и других крупнозернистых материалов, имеющих коэффициент фильтрации не менее 1,0 м/сут. Толщина песчаного слоя назначается в зависимости от вида покрытия и грунта земляного полотна от 0,1 до 0,5 м.

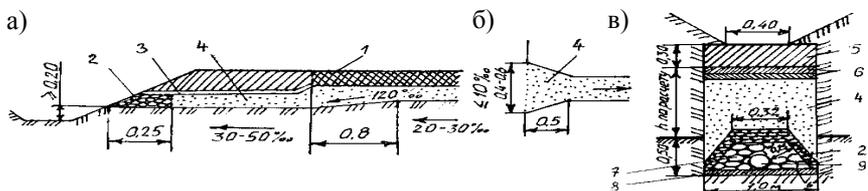


Рис. 1.10. Схема подземного водоотвода:

а – дренирующий слой; б – дренажные воронки; в – закрытый дренаж; 1 – дорожная одежда; 2 – щебень или гравий; 3 – прослойка; 4 – песчаный слой; 5 – утрамбованная глина; 6 – два слоя дерна корнями вверх или 3 см грунта, обработанного битумом; 7 – щебень или гравий крупностью 40...70 мм; 8 – щебень, втрамбованный в грунт; 9 – керамическая или асбестоцементная труба диаметром 15...20 см

Дренажные устройства – комплекс сооружений, предназначенных для понижения уровня сбора грунтовых вод с их отводом из земляного полотна и из-под дорожных одежд. Различают: **горизонтальный дренаж**, к которому относятся трубчатый дренаж, сплошная прорезь, дренажная галерея, горизонтальные скважины (дрены), и **вертикальный дренаж** – забивные и сквозные фильтры, колодцы, сифонный дренаж. Дренажные устройства укладывают: выше водоупора глубокого залегания (несовершенный дренаж); на поверхности или ниже водоупора при неглубоком его залегании для полного перехвата подземных вод (совершенный дренаж).

Дренажная воронка – водоотводное устройство закрытого типа, сооружаемое под обочинами по обеим сторонам дорожной одежды в шахматном порядке и заполняемое дренирующим материалом, для отвода воды или осушения верхней части земляного полотна с выходом на дневную поверхность.

Закрытый дренаж состоит из уложенной в грунте дрены – трубы (гончарной, керамической, бетонной или деревянной), в стенах которой имеются отверстия для приема воды. Чтобы труба не засорялась грунтом, ее окружают пористой засыпкой.

При большом притоке грунтовых вод (более 1 л/с) и близком залегании водоносного слоя для отвода воды от выемки и понижения кривой депрессии устраивают перехватывающий экранирующий дренаж (рис. 1.11 а) со стороны откосной части.

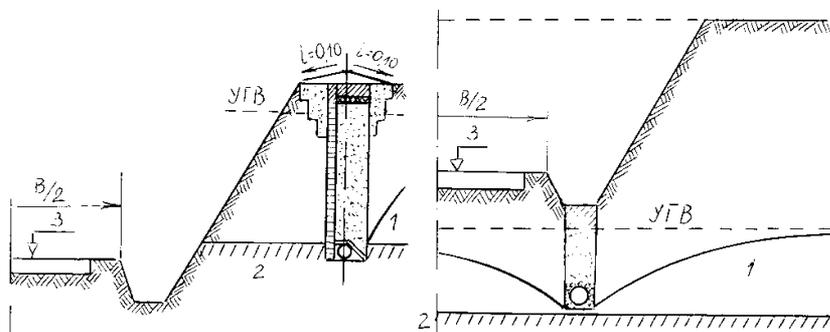


Рис. 1.11. Схема перехватывающего дренажа выемки (а) и понижающего подкюветного дренажа (б):

1 – водоносный слой; 2 – водоупорный слой; 3 – проектные отметки земляного полотна; УГВ – уровень грунтовых вод до понижения

Для понижения уровня грунтовых вод устраивают подкуветный дренаж по обе стороны от земляного полотна дороги (рис. 1.11 б).

1.10. Дорожная одежда

Дорожная одежда – многослойная конструкция (в отдельных случаях – однослойная), воспринимающая нагрузку от транспортных средств и передающая ее на грунтовое основание или подстилающий грунт. Дорожная одежда состоит из верхнего слоя – *дорожного покрытия*, нижнего – *дорожного основания* и *дополнительных слоев*. Основные требования к дорожной одежде:

- 1) необходимая прочность, ровность, шероховатость поверхности, беспыльность;
- 2) обеспечение безопасного движения;
- 3) экономичность, определяемая затратами на строительство, ремонт и содержание;
- 4) надежность, определяемая вероятностью безотказной работы.

Покрытие – верхний слой дорожной одежды, непосредственно воспринимающий многократно повторяющееся воздействие транспортных средств и погодно-климатических факторов и обеспечивающий безопасный проезд автомобилей с расчетными скоростями. Поверхность покрытия должна быть ровной и обеспечивать хорошее сцепление с ним колес автомобиля.

Основание – нижний слой дорожной одежды, воспринимающий совместно с покрытием нагрузку от автомобилей и предназначенный для ее распределения на дополнительные слои или непосредственно на грунт земляного полотна. Обычно его строят из нескольких слоев: верхний, непосредственно подстилающий покрытие, из более прочных материалов и нижние слои основания, выполняющие морозозащитные, дренирующие, противозаиливающие и т.п. функции.

Дорожные одежды по механическим свойствам разделяются на *жесткие* (с цементобетонными или асфальтобетонными покрытиями и основаниями из монолитного бетона) и *нежесткие* (все остальные).

Жесткая дорожная одежда – дорожная одежда, работающая как плита конечных размеров на упругом основании при свободном, шарнирном или ином способе соединения плит. Она устраивается на автомобильных дорогах I-IV категорий с движением авто-

мобилей и автопоездов большой грузоподъемности (с нагрузкой на ось 100 кН и более).

По технологии строительства цементобетонные покрытия подразделяют на *монолитные* и *сборные*.

Для обеспечения высоких транспортно-эксплуатационных качеств к конструкции дорожной одежды предъявляют следующие требования:

- 1) по трещиноватости покрытия и конструктивных слоев, способных сопротивляться изгибу, – допускаемое напряжение растяжения при изгибе монолитных слоев;
- 2) по прочности дорожной одежды в целом – допускаемое напряжение сдвига в грунтах земляного полотна;
- 3) по продольной устойчивости покрытия – критическое напряжение сжатия, возникающее в покрытии при превышении его нагрузки;
- 4) по морозоустойчивости – допускаемое зимнее вспучивание;
- 5) по шероховатости поверхности покрытия – допускаемый коэффициент сцепления колеса с покрытием или допускаемая средняя высота выступов шероховатости.

Бетонное покрытие устраивают одинаковой толщины по всей ширине проезжей части с односкатным поперечным профилем при устройстве проезжей части с разделительной полосой. При проезжей части с двускатным поперечным профилем разделительная полоса не устраивается. Поперечный уклон покрытия принимают в пределах 15...20‰ (рис. 1.12). Толщина бетонных покрытий устанавливается расчетным путем.

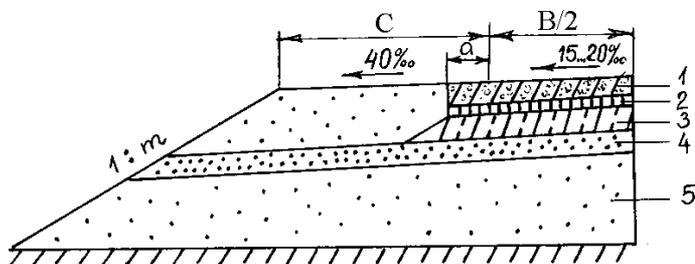


Рис. 1.12. Дорожная одежда с цементобетонным покрытием:
1 – покрытие; 2 – выравнивающий слой; 3 – основание; 4 – дополнительный слой основания; 5 – земляное полотно; В – ширина проезжей части; а – укрепительная полоса; с – обочина

Выравнивающий слой предназначен для обеспечения наилучших условий взаимодействия покрытия с основанием при действии температуры и внешней нагрузки. Он способствует равномерному опиранию плит на основания, устраняя отдельные неровности. Для устройства выравнивающих слоев на дорогах I и II категорий используют битумопесчаную смесь, распределяемую слоем толщиной 3...5 см.

Основание под цементобетонное покрытие устраивают для уменьшения давления на подстилающий грунт от движущихся автомобилей. На автомобильных дорогах I – III категорий для основания применяют каменные материалы или грунты, укрепленные цементом и другими неорганическими вяжущими. Основания из щебня, шлаков и грунтов, укрепленных органическими вяжущими, устраивают на дорогах II и III категорий. Толщину основания назначают по расчету, но не менее 14 см из песчаных и супесчаных грунтов, укрепленных цементом, и 15 см – из щебня, шлака и гравия.

Дополнительный слой основания наряду с передачей нагрузок на земляное полотно выполняет функции морозозащитного или дренажного слоя. Его толщину рассчитывают в соответствии с «Инструкцией по проектированию жестких дорожных одежд» (ВСН 197-91).

Нежесткая дорожная одежда – слой, работающий как слоистая система бесконечных в плане размеров на грунтовом основании. К нежестким относят одежды со слоями из асфальтобетона, материалов и грунтов, укрепленных битумом, цементом, известью, комплексными и другими вяжущими, а также из зернистых материалов (щебня, шлака, гравия).

Расчет дорожной одежды осуществляется по трем критериям:

- 1) допустимому упругому прогибу;
- 2) сдвигу в подстилающем грунте и в слоях асфальтобетона;
- 3) прочности слоев из монолитных материалов на растяжение при изгибе.

Размещение слоев дорожной одежды из различных материалов должно способствовать ее наилучшей распределяющей и деформативной способности. Для верхнего слоя применяют материалы, обладающие достаточной прочностью при влажности и температуре, характерных для района строительства; для нижнего слоя используют местные материалы, укрепленные малыми дозами вяжущего (рис. 1.13) [10].

При укладке крупнообломочных материалов на пылеватые и суглинистые грунты предусматривают изолирующие прослойки, предотвращающие взаимопроникание.

Толщину слоев сначала назначают, а затем уточняют в результате расчета.

Основание следует устраивать на 0,6...1,0 м шире покрытия с целью обеспечения благоприятных условий работы прикромочной части дорожной одежды.



Рис. 1.13. Дорожная одежда с асфальтобетонным покрытием

1.11. Пересечения и примыкания автомобильных дорог

Важными элементами дорожной сети являются пересечения и примыкания дорог в одном и в разных уровнях.

Пересечения и примыкания в одном уровне характеризуются наличием в их пределах большого количества конфликтных точек.

Конфликтная точка – место, в котором пересекаются, разделяются или сливаются траектории потоков движения.

На пересечениях двухполосных дорог получается 32 конфликтных точки, на их примыканиях – 9. Количество конфликтных точек возрастает с числом полос в каждом направлении. Наиболее эффективным мероприятием для улучшения условий и безопасности движения является строительство дорог с **пересечением в разных уровнях** и создание развязок движения между ними.

Согласно СНиП 2.05.02-85, пересечения в разных уровнях необходимо принимать в следующих случаях:

- 1) дорог категории Ia с автомобильными дорогами всех категорий;
- 2) дорог категорий Ib и II с дорогами II и III категорий;
- 3) дорог III категории между собой.

На пересечениях происходят разветвление, слияние, переплетение и пересечение транспортных потоков (рис. 1.14).

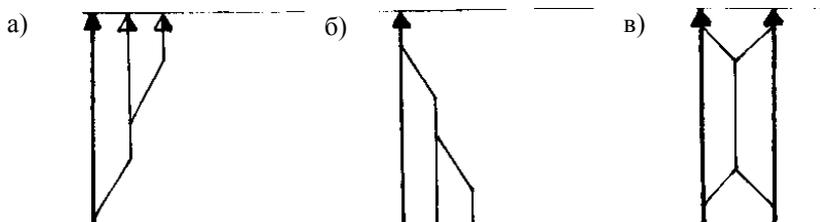


Рис. 1.14. Схемы движения автомобилей на подходах и в пределах транспортных развязок:
а – разветвление; б – слияние; в – переплетение

При *разветвлении* транспортный поток, меняющий направление движения с одной дороги на другую, не должен воздействовать на режим движения на покидаемой им дороге.

Слияние происходит при вхождении второстепенного потока с примыкающей дороги (рампы) в транспортный поток основного направления.

Переплетение – перемена полос движения автомобилями, движущимися по параллельным полосам, происходящая на развязках кольцевого типа.

Пересечение – взаимное пересечение путей движения потоков автомобилей различных направлений.

Пересечение автомобильных дорог в разных уровнях осуществляется через развязки движения типа клеверный лист, ромб, турбина, мальтийский крест и др.

Приведенные схемы пересечений дорог в разных уровнях свидетельствуют о том, что пересечения и примыкания являются сложными транспортными сооружениями со своеобразной геометрией симметричной или неправильной формы, но обязательно с плавными кривыми.

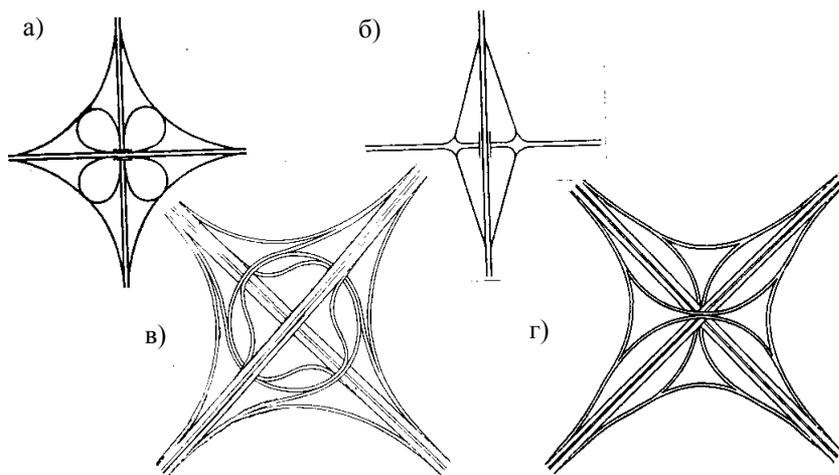


Рис. 1.15. Схемы развязки:
 а – клеверный лист; б – ромб; в – турбина; г – мальтийский крест
 (развязка в 4-х уровнях)

1.12. Инженерное обустройство автомобильных дорог

Обустройство дороги – это комплекс дорожных сооружений, к которым относятся автобусные остановки, площадки для стоянки и отдыха, устройства для освещения дорог, дорожная связь, дорожки для пешеходов, велосипедистов и т.д.

Автобусные остановки размещают на автомобильных дорогах с учетом мощности пассажиропотока для обеспечения оптимального обслуживания людей в прилегающих к дороге территориях. Остановка может включать в себя несколько конструктивных элементов: остановочную площадку для автобусов; посадочную площадку для пассажиров; павильон (на дорогах I категории совмещенный с лестничными сходами в пешеходный тоннель); полосы разгона и замедления автобусов; островки безопасности; туалет; контейнер для мусора.

Площадки отдыха должны быть расположены через 15...20 км на дорогах I и II категорий, 25...35 км – на дорогах III категории и через 45...55 км – на дорогах IV категории. Их вместимость назначается в зависимости от категории дороги: I – 20...50 автомобилей; II и III – 10...15 автомобилей; IV – 10 автомобилей.

Автозаправочные станции (АЗС) и станции технического обслуживания автомобилей (**СТО**) размещают в придорожных полосах на участках дорог с уклоном не более 40%, на закруглениях дороги в плане с радиусом более 1000 м, на выпуклых кривых в продольном профиле радиусом более 10000 м, не ближе 250 м от железнодорожных переездов, на участках с насыпями высотой не более 2,0 м.

Дорожная связь на автомобильных дорогах является важнейшим средством организации автомобильного движения. Система аварийно-вызывной связи включает в себя переговорные колонки, связанные кабелем с диспетчерским пунктом.

Дорожные знаки устанавливают в соответствии с ГОСТ 10807-78 "Знаки дорожные. Общие технические условия" и ГОСТ 23457-86 "Технические средства организации дорожного движения. Правила применения".

По назначению дорожные знаки разделяют на 7 групп: предупреждающие, приоритета, запрещающие, предписывающие, информационно-указательные, сервиса и дополнительной информации. Опоры дорожных знаков изготавливают из материалов, обеспечивающих устойчивость всей конструкции под действием расчетной ветровой нагрузки, при мойке знаков ручным и механическим способом, а также исключают возможность нарочитого их разрушения. На дорогах вне населенных пунктов опоры знаков устанавливают за пределами обочин на бермах, присыпанных к обочине, на откосах насыпи, на полосе откоса за боковой канавой или над обочинами.

Дорожная разметка в виде линий, надписей и других обозначений, наносимых на проезжую часть, бордюры, элементы дорожных сооружений, устанавливает порядок движения, показывает габариты сооружений, направление движения, обозначает опасные участки.

Разметку выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 13508-74 "Разметка дорожная" и других документов.

Элементы дорожной разметки разделяют на 2 основные группы: горизонтальная и вертикальная. Для **горизонтальной разметки** используют белый и желтый цвета. **Вертикальная разметка** представляет собой сочетание полос белого и черного цвета. На скоростных дорогах разметка выполняется из световозвращающих материалов.

Направляющие устройства предназначены для информирования водителей в темное время суток или при неблагоприятных погодных условиях об изменении направления движения, протяжен-

ности и форме опасных участков. К направляющим устройствам относятся: направляющие столбики; световые тумбы с проблесковыми или постоянными огнями; плитки, кнопки и устройства со световозвращающими элементами, закрепленные на проезжей части и дорожных сооружениях; переносные барьеры, стойки, щиты; конусы, вежи, применяемые в местах проведения дорожных работ.

Дорожные ограждения устанавливают для предотвращения непредвиденных съездов автомобилей с откосов насыпей, падения с мостов, путепроводов и эстакад, переездов разделительной полосы, наездов на пассивные препятствия, а также для упорядочения движения пешеходов.

По функциональному назначению конструкции дорожных ограждений разделяют на 2 группы:

1) конструкции, рассчитанные на силовое воздействие транспортных средств: направляющие – на противодействие скользящим ударам автомобиля с углом наезда до 30°; останавливающие – на фронтальный удар автомобиля с углом наезда 90°);

2) конструкции, предназначенные для регулирования движения пешеходов (перильного типа).

По конструктивному исполнению **направляющие ограждения** разделяют на 4 типа: барьерные, парапетные, бордюрные, комбинированные.

Ограждения выполняют из стальных W-образных планок, стальных тросов диаметром 19,5 мм, железобетонных брусьев длиной 2,49 м.

Останавливающие ограждения предназначены для амортизации фронтального удара автомобиля. Наиболее приемлемой конструкцией является ограждение из пустых стальных бочек, связанных в одну группу.

Освещение автомобильных дорог предназначено для обеспечения безопасности движения транспортных средств в темное время суток.

СНиП 2.05.02-85 требует устраивать стационарное электрическое освещение на участках автомобильных дорог в пределах населенных пунктов, на больших мостах, автобусных остановках, пересечениях с железными дорогами, кольцевых пересечениях, автозаправочных станциях, в транспортных автодорожных тоннелях и в других местах.

Опоры светильников устанавливают за бровкой земляного полотна на расстоянии от нее не менее 0,5 м.

2. ВОЗВЕДЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

2.1. Виды работ, выполняемые при сооружении земляного полотна

При возведении земляного полотна проводятся следующие работы:

- 1) подготовительные;
- 2) основные по возведению насыпи и разработке выемок;
- 3) отделочные.

Подготовительные работы предусматривают проведение следующих видов работ: восстановление трассы, отвод и закрепление земель на постоянное и временное пользование, расчистка полосы отвода, разбивочные работы, устройство водоотводных канав.

Основные работы – это непосредственная разработка выемок и отсыпка насыпей. При выполнении этих работ осуществляются такие процессы, как рыхление и копание грунта, его транспортирование в места отсыпки, распределение и уплотнение.

Отделочные работы заключаются в планировке поверхности земляного полотна, укреплении от размыва водой канав и откосов насыпей и выемок, восстановлении растительного слоя на землях, отводившихся во временное пользование.

Помимо вышеуказанных работ в районах со сложными условиями, например, на болотах, выполняют дополнительные работы по удалению торфа, устройству изолирующих прослоек и др.

Все земляные работы выполняют с помощью различных машин, которые подбирают таким образом, чтобы обеспечить высокое качество и наиболее эффективное использование каждой машины. Выбор машин для различных условий и технологических процессов производят на основании расчетов сравниваемых вариантов. При этом необходимо учитывать объемы работ и сроки их выполнения.

Используемые на строительстве автомобильных дорог машины и оборудование можно разделить на следующие группы [4]:

1) машины для подготовительных работ – трелевочные тракторы, бензо- и электропилы, кусторезы, корчеватели, рыхлители, погрузчики;

2) машины для земляных работ – скреперы, бульдозеры, грейдер-элеваторы, прицепные грейдеры, автогрейдеры, канавокопатели, экскаваторы;

3) машины для уплотнения грунтов и дорожных покрытий – прицепные кулачковые и гладкие катки, катки на пневматических шинах, самоходные гладкие катки, виброкатки, виброплиты;

4) машины для улучшения оснований – фрезы, грунтосмесительные машины, распределители каменной мелочи и минеральных вяжущих;

5) машины для постройки асфальтобетонных покрытий – автогудронаторы, битумовозы, асфальтобетонные смесители, асфальтоукладчики, распределители битума;

6) машины и оборудование для приготовления бетонных смесей – бетономешалки, бетоносмесительные установки, бетоноукладчики;

7) машины для добычи и переработки строительных материалов – грохоты, транспортеры, камнедробилки и др.;

8) оборудование для постройки мостов и труб – лебедки, домкраты, насосные станции, копры, вибраторы и др.

Выбор машин можно производить в зависимости от годового объема земляных работ, расстояния транспортирования грунта, вида работ и условий их выполнения (табл. 2.1) [11].

Основными технико-экономическими показателями, устанавливающими приоритетность применения типа машин, являются: стоимость работ, затраты энергии, выработка на одного рабочего.

Стоимость работ зависит от времени работы машины, затраченного на выполнение объема работ:

$$C = \frac{\sum t M}{V}; \quad \sum t M = t_1 M_1 + t_2 M_2 + \dots + t_n M_n, \quad (2.1)$$

где C – стоимость единицы работ, руб./м³;

t – время работы каждого вида машины, необходимое для выполнения всего объема работ, маш.-смен;

M – стоимость машино-смены соответственно каждой из машин, занятых на работах, руб.;

V – объем земляных работ на объектах, м³.

Энергоемкость работ устанавливают по затраченной работе, приходящейся на единицу объема земляных работ:

Таблица 2.1

Рекомендуемые типоразмеры дорожных машин

Виды работ и условия их выполнения	Расстояние транспортирования грунта	Рекомендуемая машина	Рекомендуемые типоразмеры машин при годовом объеме земляных работ, тыс. м ³						
			50	100	200	500	1000	2000	3000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Разработка мелких выемок с перемещением грунта в насыпь	до 50	Бульдозеры на гусеничных тракторах, тс	3...10	3...10	5...10	10...15	10...15	10...25	10...25
	до 50	Бульдозеры на колесных тракторах, тс	3...5	3...5	5...10	5...15	5...15	5...15	5...15
	100...500	Скреперы с ковшом объемом, м ³	до 5	до 8	7...8	7...8	15...25	15...25	15...25
Разработка выемок и грунтовых карьеров с перемещением грунта в насыпь	500...3000	Скреперы с ковшом объемом, м ³	9	9	9...15	9...25	15...25	15...25	15...25
	500 и более	Экскаваторы с ковшом емкостью, м ³	0,3	0,3...0,5	0,3...0,65	0,5...1,25	0,65...1,6	0,65...1,6	0,65...1,6
		Автомобили-самосвалы грузоподъемностью, т	3,5...5	3,5...5	3,5...7	3,5...7	5...12	5...12	5...12
	500 и более	Самоходные фронтальные погрузчики грузоподъемностью, т	-	-	0,8...1,5	2...4	2...4	2...4	9...4
		Бульдозеры	-	-	5...10	10...15	10...15	10...25	10...25
		Автомобили-самосвалы грузоподъемностью, т	-	-	5...7	10...12	10...12	12...25	12...25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	500 и более	Самоходные фронтальные погрузчики грузоподъемностью, т Бульдозеры, тс Автомобили-самосвалы грузоподъемностью, т	- - -	- - -	3...7 5...10 12...25	5...7 10...15 12...25	5...12 10...15 более 25	5...12 10...25	5...12 10...25
Насыпи на подходах к мостам и дамбы на поймах рек	до 2000	Гидромеханизация	-	-	-	+	+	+	+
Возведение насыпей из боковых резервов	до 15	Автогрейдер мощностью, л.с. Грейдер-элеватор	90...110	90...110	-	-	-	-	-
		Экскаватор с оборудованием драглайн с объемом ковша, м ³	-	-	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8
	до 50	Бульдозеры на гусеничных тракторах, тс	3...10	3...10	5...10	10...15	10...15	10...25	10...25
		Бульдозеры на колесных тракторах, тс	3...5	3...5	5...10	5...15	5...15	5...15	5...15
	более 50	Скреперы с ковшом объемом, м ³	до 5	до 8	7...8	7...8	15...25	15...25	15...25

$$\Theta = \frac{\sum tN}{V}; \quad \sum tN = t_1N_1 + t_2N_2 + \dots + t_nN_n, \quad (2.2)$$

где Θ – энергоемкость продукции, Дж/м³;

N – мощность двигателей машин, Вт.

Выработку на одного рабочего определяют по затратам труда на выполнение работ:

$$B = \frac{V}{\sum U}; \quad \sum U = U_1 + U_2 + \dots + U_n, \quad (2.3)$$

где B – выработка на одного рабочего, м³/чел.-дн.;

U – время работы рабочих по каждому технологическому процессу, чел.-дн.

2.2. Подготовительные работы при сооружении земляного полотна

До начала сооружения земляного полотна выполняют следующие работы по восстановлению трассы:

- 1) выноска всех углов поворота и пикетов на границу полосы отвода;
- 2) закрепление вершин углов поворотов;
- 3) разбивка круговых и переходных кривых;
- 4) разбивка и закрепление осей искусственных сооружений;
- 5) проверка отметок существующих реперов;
- 6) проверка продольного нивелирования.

На прямых участках дороги закрепление производят через 200...400 м. Для этого на границе полосы отвода устанавливают выносные столбы, а между ними выставляют промежуточные выносные колья. На криволинейных участках выносные столбы располагаются через каждые 100 м.

Вершины углов закрепляют установкой столбов, которые закапывают на расстоянии 0,5 м от фактической вершины на продолжении биссектрисы.

Высотные отметки закрепляют реперами через каждые 1000...2000 м с обязательной установкой на пересечениях с автомобильными и железными дорогами, на пересечениях рек, у насыпей с высотой и

выемок с глубиной более 5 м. Реперы устанавливают в стороне от дороги, окапывают неглубокими канавами и обсыпают землей в виде конуса.

Размеры полосы отвода определяют по ширине подошвы насыпей и размерам выемок поверху с учетом размещения боковых и забанкетных канав, банкетов и предохранительных полос шириной 1 м с каждой стороны дороги.

Полосу земли, отведенную для размещения дороги, расчищают от леса, кустарника, пней и крупных камней. Если в пределах этой полосы находятся строения, линии связи или электропередачи, подземные инженерные сооружения, их перестраивают или переносят.

Расчистка полосы от леса является наиболее трудоемкой работой; кроме того, лесная растительность является ценным природным продуктом, поэтому работы по расчистке дорожной полосы от леса и кустарника необходимо выполнять с наименьшими потерями. Поскольку качество спиливаемой древесины лучше в зимнее время, к тому же грунтовые дороги, по которым осуществляется вывозка древесины, находятся в более устойчивом состоянии, целесообразней расчистку дорожной полосы вести в зимнее время. Валку деревьев осуществляют бензомоторными или электрическими пилами.

Производительность моторной пилы на валке леса определяется из выражения

$$P = \frac{14400 \varphi_1 \varphi_2 P q_0}{\pi d^2}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.4)$$

где φ_1 – коэффициент использования рабочего времени, $\varphi_1 = 0,4 \dots 0,5$;

φ_2 – коэффициент использования мощности, $\varphi_2 = 0,6 \dots 0,7$;

P – производительность пиления: для хвойных и мягколиственных пород – $0,005 \dots 0,007 \text{ м}^2/\text{с}$; для твердолиственных пород $0,003 \dots 0,005 \text{ м}^2/\text{с}$;

q_0 – средний объем ствола, м^3 ;

d – диаметр пропила при спиливании среднего дерева, м.

Спиленные деревья очищают от сучьев и транспортируют трелевочными тракторами на верхний склад, где производится погрузка краном с грейферным захватом, бульдозером с челюстным рабочим органом или специальным лесопогрузчиком. Технология валки и трелевки древесины представлена на рис. 2.1.

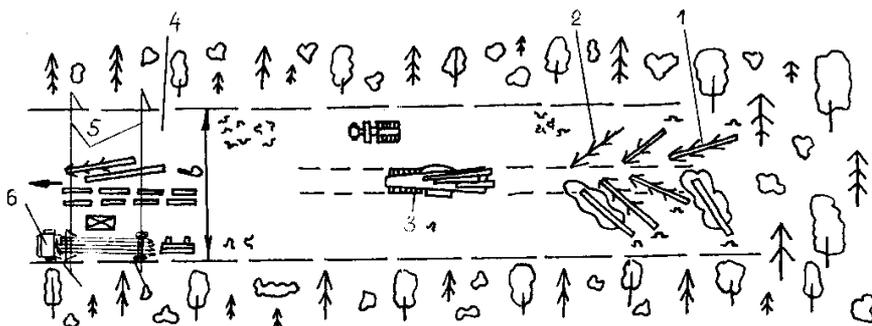


Рис. 2.1. Технология расчистки дорожной полосы от леса:
 1 – спиливание деревьев; 2 – обрезка сучьев; 3 – трелевка деревьев с помощью трелевочных тракторов; 4 – разгрузка на верхнем складе; 5 – погрузка деревьев с помощью мачтовой лебедки; 6 – лесовозный автомобиль

Производительность трактора на трелевке леса определяется из выражения

$$П = \frac{3600 \varphi M}{t_1 + \frac{l}{v_r} + t_2 + \frac{l}{v_x}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.5)$$

где φ – коэффициент использования рабочего времени, $\varphi = 0,85 \dots 0,9$;

M – объем пачки хлыстов, м^3 ;

t_1 – время, необходимое для формирования пачки, с;

l – среднее расстояние трелевки, м;

v_r – скорость движения трактора с грузом, м/с;

t_2 – время разгрузки, с;

v_x – скорость движения трактора без груза, м/с.

Корчевку пней производят в летнее время с помощью корчевателей, бульдозеров или взрыванием. Выкорчеванные пни и сучья убирают с полосы отвода, а оставшиеся ямы засыпают грунтом.

Кустарник удаляют с помощью бульдозеров или кусторезов. Иногда для уборки кустарника применяют корчеватели-собиратели.

При работе и перемещении корчевателя возникают следующие сопротивления [4]:

1) при рыхлении грунта и разрушении корневой системы зубьями

$$W_1 = nbhk_p, \text{ Н}, \quad (2.6)$$

где n – число зубьев;

b – ширина зуба, м;

h – глубина рыхления зубьями, м;

k_p – удельное сопротивление разрыхлению, при незначительном содержании корней в грунте принимается в пределах от $0,5 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^5$ Н/м²;

2) при перемещении кустарника, деревьев и камней по грунту

$$W_2 = G_{\Gamma} f_{\Gamma}, \text{ Н}, \quad (2.7)$$

где G_{Γ} – вес груза, перемещаемого отвалом, Н;

f_{Γ} – коэффициент сопротивления перемещению камней и корней по грунту, $f_{\Gamma} = 0,5 \dots 0,7$;

3) при перемещении трактора с навесным оборудованием

$$W_3 = (G_{\Gamma} + G_{\text{но}}) \cdot (f_0 \pm i), \text{ Н}, \quad (2.8)$$

где G_{Γ} – вес трактора, Н;

$G_{\text{но}}$ – вес навесного оборудования, Н;

f_0 – коэффициент сопротивления движению трактора, $f_0 = 0,08 \dots 0,15$;

i – уклон местности.

Общее сопротивление перемещению корчевателя равно сумме отдельных его составляющих, т.е.

$$W = W_1 + W_2 + W_3, \text{ Н}. \quad (2.9)$$

Производительность корчевателя определяется по формуле

$$\Pi = \frac{2blk_B}{n_1 t_1}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (2.10)$$

где b – ширина захвата, $b = 3,4$, м;

l – длина обрабатываемого участка, м;

k_B – коэффициент использования рабочего времени, $k_B = 0,8 \dots 0,9$;

n_1 – число проходов по одному следу (1-3);

t_1 – продолжительность одного цикла работы, с.

Мелкие камни (объемом до 1 м^3) удаляют за пределы дорожной полосы бульдозером, крупные (объемом больше 1 м^3) разрушают взрыванием, а затем также удаляют бульдозером.

Следующей технологической операцией после расчистки дорожной полосы является снятие плодородного почвенного слоя и укладывание его в отвалы (в дальнейшем почва используется при укреплении откосов земляного полотна, для распределения на разделительной полосе). Эту работу выполняют с помощью бульдозеров или скреперов (рис. 2.2).

Растительный грунт укладывают во временные отвалы или вывозят на места использования в качестве плодородного почвенного слоя.

Работы по восстановлению плодородного почвенного слоя выполняют в две стадии: техническую и биологическую.

Техническая стадия заключается в выравнивании и планировке площадей, уменьшении уклонов, отсыпке плодородного слоя.

Биологическая связана с севооборотом, восстанавливающим структуру и плодородие земель.

После снятия плодородного слоя производят разбивку, которая заключается в нанесении и закреплении на местности основных точек, определяющих поперечные размеры будущих насыпей и выемок. Эту работу выполняют на основе проведенного пикетажа оси дороги. Все точки закрепляют на местности с помощью кольев.

Разбивка земляного полотна (рис. 2.2) включает работы по нанесению и закреплению на местности основных точек, определяющих поперечные размеры будущих насыпей (границы их подошвы) и верхние бровки выемок с учетом уклона местности.

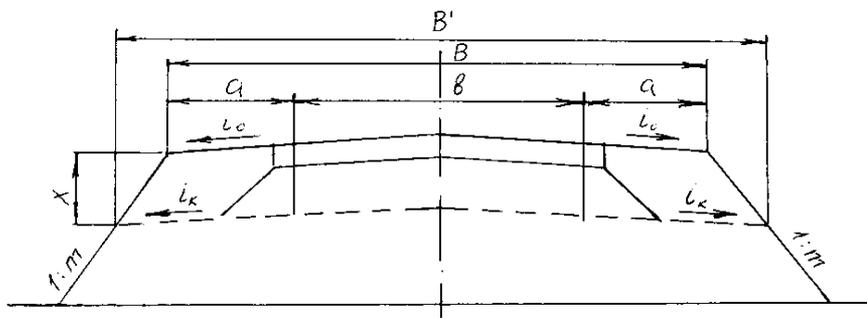


Рис. 2.2. Разбивка земляного полотна

На дорогах с покрытиями капитального типа ширина земляного полотна будет больше проектной ширины дорожного полотна:

$$B' = B + 2hm, \quad (2.11)$$

где B – проектная ширина земляного полотна;

m – заложение откоса;

h – толщина дорожной одежды.

Насыпь отсыпается ниже проектной отметки на величину X :

$$X = \frac{h - (i_0 - i_k)}{1 - mi_k}, \quad (2.12)$$

где a – проектная ширина обочины;

i_0 и i_k – величина уклона обочины и корыта (верхней части земляного полотна).

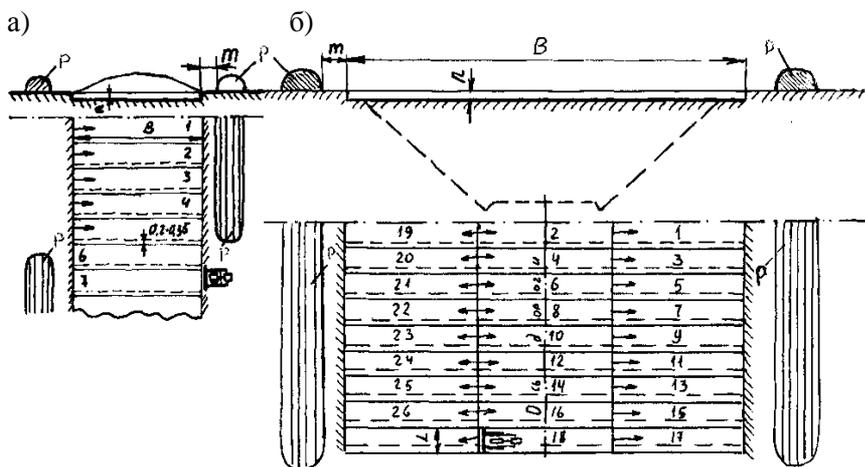


Рис. 2.3. Схема срезки растительного грунта:

а – при малой ширине полосы; б – при большой ширине и толщине срезаемого слоя; p – валики растительного грунта; 1, 2, 3... – последовательность срезания грунта; n – толщина срезаемого слоя; B – ширина дорожной полосы; m – расстояние от валика растительного слоя до границы удаленной почвы

При сооружении насыпи (высотой до 1,5 м) по оси дороги устанавливают высотные колья, соответствующие проектной высоте насыпи с учетом толщины дорожной одежды и поправок на осадку. Ширину насыпи земляного полотна определяют исходя из ширины земляного полотна, заложения откосов.

Ширину выемки определяют, откладывая от оси дороги половину ширины земляного полотна, ширину кювета поверху и заложения откоса. Ширину насыпи и выемки с обеих сторон закрепляют кольшками.

Ряд водоотводных сооружений устраивают до возведения земляного полотна. До начала разработки выемок прорывают нагорные канавы. В неблагоприятных районах строительства предварительно производят осушение болот, а возведение насыпи начинают с разработки резервов и канав.

Технология работ по устройству канав состоит из следующих операций: обозначение канавы вехами, проведение крайней борозды автогрейдером, перемещение грунта в насыпь поперечным зарезанием бульдозера, окончательная планировка откосов автогрейдером, снабженным откосниками.

При устройстве выемки с глубиной, превышающей глубину водоносного горизонта, необходимо устраивать дренаж до сооружения выемки. Технология устройства дренажа для перехвата грунтовых вод состоит из следующих операций: снятие дерна на полосе будущего дренажа; отрывка траншей на глубину до водоносного горизонта с применением траншейного экскаватора (при глубокой траншее и неустойчивых грунтах необходима установка креплений стенок с распорками); укладка подушки; устройство глиняного экрана; укладка труб с обертыванием стыков фильтровальной тканью; засыпка крупнозернистым песком; укладка глинистого слоя с уплотнением; засыпка местным грунтом с уплотнением; укладка дернового слоя.

Как уже было сказано в подразделе 1.6, малые и средние мосты, дорожные трубы возводят до отсыпки земляного полотна.

Наиболее удобной строительной машиной для выполнения всего комплекса работ по сооружению труб является самоходный колесный или гусеничный экскаватор небольшой мощности, снабженный сменным оборудованием – обратной лопатой для разработки узких котлованов, бульдозерным отвалом для засыпки труб, крановым обо-

рудованием для разгрузочных и монтажных работ, грейферным оборудованием для подачи гравийно-песчаных материалов в котлован.

2.3. Грунты земляного полотна

Земляное полотно, как правило, возводится из грунтов. Под термином *грунт* понимается любая рыхлая горная порода или почва, слагающая верхний слой земной коры и изучаемая как многокомпонентная система, изменяющаяся во времени.

Стандарт Республики Беларусь 943-93 "Грунты. Классификация" включает рассмотрение следующих классов грунтов:

- 1) с жесткими структурными связями (класс *скальных грунтов*);
- 2) без жестких структурных связей (класс *нескальных грунтов*).

Нескальные грунты включают *осадочные нецементированные* и *искусственные грунты*. Группа осадочных нецементированных включает в себя следующие виды грунтов: крупнообломочные, песчаные, пылевато-глинистые, обломочные пылевато-глинистые (лесовидные), озерные, биогенные (болотные), почвы (дерновые, подзолистые и т.д.) [8].

Крупнообломочные грунты подразделяются на 3 типа (СТБ 943-93):

- 1) валунный (глыбовый) грунт с массой частиц крупнее 200 мм более 50%;
- 2) галечниковый (щебенистый) грунт с массой частиц крупнее 10 мм более 50%;
- 3) гравийный (дресвяный) грунт с массой частиц крупнее 2 мм более 50%.

Каждый из перечисленных типов может характеризоваться видом заполнителя:

- 1) с песчаным заполнителем – при его содержании более 40%;
- 2) с пылевато-глинистым заполнителем – при его содержании более 30%.

Крупнообломочные грунты также подразделяются на разновидности по степени влажности и степени засоленности (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Разновидности крупнообломочных грунтов

№ пп	Показатель разновидности	Обозначения	Категории разновидности	Численные значения
1	Степень влажности	S_r	маловлажный влажный водонасыщенный	$0 < S_r \leq 0,5$ $0,5 < S_r \leq 0,8$ $0,8 < S_r \leq 1$
2	Степень засоленности	D_{sal}	незасоленный – при содержании песчаного заполнителя менее 40% или пылевато-глинистого менее 30%	$D_{sal} < 2$
			при содержании песчаного заполнителя 40% и более	$D_{sal} < 0,5$
			при содержании пылевато-глинистого заполнителя 30% и более	$D_{sal} < 5$
			засоленный – со значениями D_{sal} больше указанных для незасоленного грунта	

Пески – это грунты с массой частиц крупнее 2 мм менее 50% и числом пластичности менее 1.

Песчаные грунты подразделяются по гранулометрическому составу на:

- 1) гравелистый – с массой частиц крупнее 2 мм более 25%;
- 2) крупный – с массой частиц крупнее 0,5 мм более 50%;
- 3) средний – с массой частиц крупнее 0,25 мм более 50%;
- 4) мелкий – с массой частиц крупнее 0,1 мм 75% и более;
- 5) пылеватый – с массой частиц крупнее 0,1 мм менее 75%.

По гранулометрии песок объединяет частицы от 2 до 0,05 мм.

Песчаные грунты подразделяются также по показателю максимальной неоднородности, относительного содержания органического вещества, степени влажности, засоленности (табл. 2.3).

По прочности песчаные грунты подразделяются по следующим показателям:

- 1) сопротивлению грунта при статическом зондировании q_c , МПа;

- 2) сопротивлению грунта при динамическом зондировании P_d , МПа;
 3) скорости ударно-вибрационного зондирования V , см/с.

Таблица 2.3

Разновидности песчаных грунтов

№ пп	Показатель разновидности	Обозначения	Категории разновидности	Численные значения
1	Показатель максимальной неоднородности	U_{\max}	однородный среднеоднородный неоднородный повышенной неоднородности	$U_{\max} < 4$ $4 \leq U_{\max} \leq 20$ $20 < U_{\max} \leq 40$ $U_{\max} > 40$
2	Относительное содержание органического вещества	I_{om}	без примеси органического вещества с примесью органического вещества	$I_{\text{om}} \leq 0,3$ $0,03 < I_{\text{om}} \leq 0,10$
3	Степень влажности	S_r	маловлажный влажный водонасыщенный	$0 < S_r \leq 0,5$ $0,5 < S_r \leq 0,8$ $0,8 < S_r \leq 1$
4	Степень засоленности	D_{sal} , %	незасоленный засоленный	$D_{\text{sal}} < 0,5$ $D_{\text{sal}} \geq 0,5$

Гравелистый песок подразделяется только по P_d и V , пылеватый водонасыщенный – по q_c . Пылеватые частицы по гранулометрии имеют размер от 0,05 до 0,005 мм, глинистые – менее 0,005.

Глинистые грунты разделяются по числу пластичности и содержанию песчаных частиц на 3 основных типа: супесь, суглинок, глина (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Типы и виды глинистых грунтов

Типы и виды грунта	Содержание песчаных частиц, % по массе	Число пластичности
1	2	3
Супесь:		
легкая крупная	2...0,25 мм >50	1...4
легкая	2...0,05 мм >50	1...4
пылеватая	50...20	4...7
тяжелая пылеватая	< 20	4...7

1	2	3
Суглинок:		
легкий	> 40	7...12
легкий пылеватый	< 40	7...12
тяжелый	> 40	12...17
тяжелый пылеватый	< 40	12...17
Глина:		
песчаная	> 40	17...27
пылеватая	< 40	17...27
жирная	не регламентируется	> 27

По содержанию включений пылегато-глинистые грунты подразделяются на 2 группы:

- 1) с галькой (щебнем), гравием (дресвой) – при содержании соответствующих частиц крупнее 2 мм 15...25%;
- 2) галечниковый (щебенистый), гравелистый (дресвяный) – при содержании соответствующих частиц крупнее 2 мм 26...50%.

Кроме этого, пылегато-глинистые грунты подразделяются по: относительному содержанию органического вещества, коэффициенту пористости, показателю текучести, относительной просадочности, относительному набуханию и степени засоленности (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Разновидности пылегато-глинистых грунтов

№ пп	Показатель разновидности	Обозначения	Категории разновидности	Численные значения
1	2	3	4	5
1	Относительное содержание органического вещества	$I_{\text{орг}}$	без примеси органического вещества с примесью	$I_{\text{орг}} \leq 0,05$ $0,05 < I_{\text{орг}} \leq 0,10$
2	Коэффициент пористости	e	низкопористые высокопористые	$e \leq 0,8$ $e > 0,8$

1	2	3	4	5
3	Показатель текучести (консистенция)	I_L	супесь: твердая пластичная текучая суглинок, глина: твердые полутвердые тугопластичные мягкопластичные текучепластичные текучие	$I_L < 0$ $0 \leq I_L \leq 1$ $I_L < 1$ $I_L < 0$ $0 \leq I_L \leq 0,25$ $0,25 \leq I_L \leq 0,50$ $0,50 \leq I_L \leq 0,75$ $0,75 \leq I_L \leq 1$ $I_L > 1$
4	Относительная просадочность	ε_{sl}	непросадочный просадочный	$\varepsilon_{sl} < 0,01$ $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$
5	Относительное набухание без нагрузки	ε_{sw}	ненабухающий слабонабухающий средненабухающий сильнонабухающий	$\varepsilon_{sw} < 0,04$ $0,04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,08$ $0,08 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,12$ $\varepsilon_{sw} > 0,12$
6	Степень засоленности	D_{sal}	незасоленный засоленный	$D_{sal} < 0,5$ $D_{sal} \geq 0,5$

По прочности пылевато-глинистые грунты подразделяются по следующим показателям:

- 1) сопротивлению грунта при статическом зондировании q_c , МПа;
- 2) сопротивлению грунта при динамическом зондировании P_d , МПа.

Параметры, представленные в табл. 2.2, 2.3, 2.5, могут быть выражены через физические характеристики грунтов.

Степень влажности – это отношение естественной влажности грунта W к полной влагоемкости W_{\max} , характеризующей заполнение всех пор, трещин, пустот породы водой, причем предварительно из породы удален вакуумированием воздух:

$$S_r = \frac{W}{W_{\max}}. \quad (2.13)$$

Степень засоленности характеризует содержание легко- и среднерастворимых солей m_{sal} в % от массы абсолютно сухого грунта m_d :

$$D_{sal} = \frac{m_{sal}}{m_d} \cdot 100, \% . \quad (2.14)$$

Число пластичности представляет собой разность между значениями влажности, соответствующими пределу текучести W_L и пределу раскатывания W_p :

$$I_p = W_L - W_p. \quad (2.15)$$

Показатель текучести (консистенция) представляет собой численную характеристику состояния глинистой породы по влажности:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}. \quad (2.16)$$

Относительное содержание органических веществ (степень заторфованности) – это отношение массы органического вещества m_{om} к массе образца абсолютно сухого грунта:

$$I_{om} = \frac{m_{om}}{m_d}. \quad (2.17)$$

Коэффициент пористости представляет собой отношение объема пор V_n к объему грунта V_d :

$$e = \frac{n}{1 - n} = \frac{V_n}{V_d}. \quad (2.18)$$

Этот показатель может быть выражен через плотность частиц грунта ρ_s и плотность сухого грунта:

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}. \quad (2.19)$$

Показатель максимальной неоднородности грунта равен:

$$U_{\max} = d_{50} \frac{d_{95}}{d_{05}}, \quad (2.20)$$

где d_{95} , d_{50} , d_{05} – соответственно диаметры частиц, мм, меньше которых в данном грунте содержится по массе 95, 50 и 5%.

Относительная просадочность представляет собой отношение уменьшения высоты образца в результате замачивания водой или другой жидкостью при определенном вертикальном давлении Δh_{sl} к высоте образца природной влажности h при давлении, равном природному на глубине отбора образца:

$$\varepsilon_{sl} = \frac{\Delta h_{sl}}{h}. \quad (2.21)$$

Относительное набухание без нагрузки – это отношение увеличения высоты образца грунта в результате замачивания водой или другой жидкостью Δh_{sw} к начальной высоте грунта природной влажности h

$$\varepsilon_{sw} = \frac{\Delta h_{sw}}{h}. \quad (2.22)$$

Сопrotивляемость грунта при статическом зондировании представляет собой удельное сопротивление грунта под наконечником зонда, измеряемое в МПа.

Условное динамическое сопротивление грунта определяется из выражения

$$P_d = A \cdot K \cdot \Phi \cdot \frac{n}{h}, \quad (2.23)$$

где A – удельная энергия зондирования, Н/см;

K – коэффициент учета потерь энергии при ударе;

Φ – коэффициент учета потерь на трение;

n – количество ударов;

h – глубина погружения зонда за залог.

Условное динамическое сопротивление грунта при ударно-вибрационном зондировании определяется из выражения

$$P_{d_v} = \frac{K_v \cdot K_{\Pi}}{V}, \quad (2.24)$$

где K_v – коэффициент, учитывающий потери;

K_{Π} – коэффициент, учитывающий параметры оборудования;

V – скорость ударно-вибрационного зондирования.

В зависимости от трудности разработки различными машинами грунты разделяют на 4 группы (табл. 2.6):

I – легкоразрабатываемые;

II – разработки средней трудности;

III – тяжелые для разработки;

IV – особо тяжелые для разработки.

Наиболее часто встречающиеся виды грунтов имеют определенное отношение к применимости и пригодности для возведения насыпей и устройства в них выемок.

Крупнообломочные и песчаные грунты характеризуются хорошей водопроницаемостью. Их применяют как дренирующий материал, гранулометрические добавки, а также как заполнители для цемента- или асфальтобетона.

Таблица 2.6

Наименование и краткая характеристика грунтов	Группы грунтов по трудности их разработки машинами				
	одноковшовыми экскаваторами	скреперами	бульдозерами	автогрейдерами	грейдер-элеваторами
1	2	3	4	5	6
Галька и гравий всех видов без валунов	I-II	II	II	II	–
Глина: жирная, мягкая и насыпная, слежавшаяся, всех видов	II	II	II	II-III	II
с примесью щебня, гальки и гравия 10% и более	III	–	II	III	–
моренная с валунами	IV	–	III	–	–
тяжелая ломовая	III	II	III	III	–

Окончание табл. 2.6

1	2	3	4	5	6
Грунт растительного слоя: без корней и валунов с примесью гравия, щебня	I II	I –	I III	I –	I –
Лесс: естественной влажности сухой и отвердевший	I I	I II	I III	I II	I –
Песок: всех видов, естественной влажности сухой сыпучий с примесью сухой барханной, дюнный	I I –	II II II	II III III	II – –	III – –
Суглинок: легкий и лессовидный тяжелый и сле- жавшийся с примесью щебня, гравия	I II	I II	II II	I II	I –
Супеси всех видов	I	II	II	II	II
Торф: без корней и с корнями толщиной до 30 мм с корнями толщиной более 30 мм	I II	I II	I III	I –	I –
Чернозем и каштановые земли: естественной влажности отвердевшие	I II	I II	I III	I III	II III
Щебень	II	–	II	–	–

Песчаные пылеватые грунты мало связаны в сухом состоянии, а при увлажнении пьвут, поэтому для устройства земляного полотна их применять нежелательно.

Супесчаные грунты широко используются для возведения земляного полотна, поскольку они устойчивы в сухом и влажном состояниях.

Пылеватые супеси в сухом состоянии сильно пылят, при увлажнении пьвут, поднимают капиллярную воду на большую высоту (до 3 м), обладают малой пластичностью и плохой водопроницаемостью, склонны к пучинообразованию, поэтому в дорожном отношении они крайне неблагоприятны.

Суглинистые грунты отличаются связностью и незначительной водопроницаемостью. Пластичность, липкость, набухание и капиллярные свойства проявляются очень заметно. Эти грунты могут

применяться при сооружении земляного полотна, однако требуют защитных мер против избыточного увлажнения.

Суглинистые пылеватые и тяжелосуглинистые грунты обладают значительной связностью и плотностью, имеют малую водопроницаемость, при увлажнении весьма склонны к пучинообразованию. Для возведения земляного полотна могут применяться только в сухих местах, в нижних слоях и, как правило, требуют проведения мероприятий против избыточного увлажнения.

Глинистые грунты практически водонепроницаемы, обладают большой пластичностью, липкостью и набуханием. Использование их в земляном полотне автомобильных дорог нецелесообразно [7].

2.4. Возведение насыпей и разработка выемок

Процесс возведения насыпей состоит из последовательной укладки грунта определенной толщины, который сравнительно легко уплотнить. *Методом послойной отсыпки* (рис. 2.4) укладывают слои грунта один на другой, доводя насыпь до проектной отметки. При таком способе основные работы ведут на двух участках одинаковой длины: на одном создают слой грунта, на другом уплотняют его; затем операции меняются местами.

При возведении земляного полотна на участках, где имеется овраг или болото, произвести послойную укладку невозможно. В таких случаях применяется способ *отсыпки насыпи «с головы»*; уплотнение производится под действием вышележащей массы грунта и передвижения поверху дорожно-строительной техники и автомобилей, в результате чего происходит постепенная осадка насыпи. Недостатком этого способа является невозможность послойного уплотнения. Чтобы устранить этот недостаток, применяют *комбинированный способ*.

В условиях равнинной местности при невысоких насыпях их сооружение осуществляется *из боковых резервов*, закладываемых вдоль дороги с одной или с двух сторон. Достоинство этого способа – минимальная стоимость земляных работ, недостаток – увеличение почти в 2 раза площади, занимаемой дорогой.

Для сооружения земляного полотна автомобильных дорог применяют бульдозеры, скреперы, автогрейдеры, грейдер-элеваторы,

экскаваторы. Выбор ведущей машины зависит от высоты насыпи, вида грунта и дальности его перевозки.

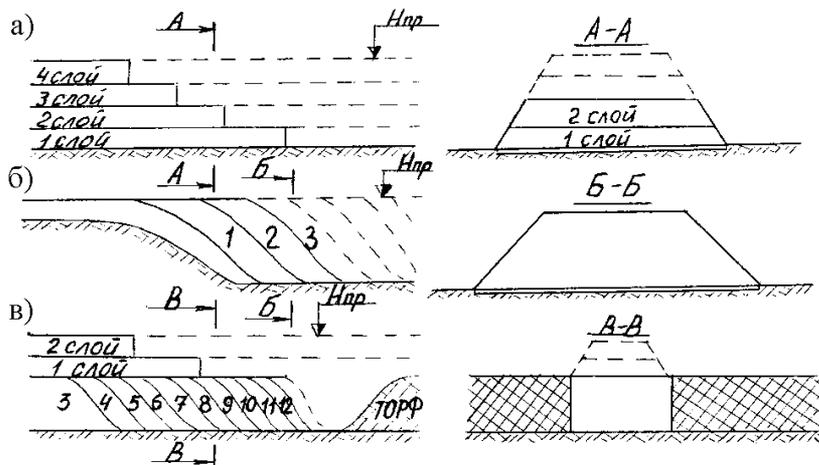


Рис. 2.4. Схема отсыпки насыпи:
а – послойная; б – «с головы»; в – комбинированная

Бульдозеры в качестве основной машины используются при сооружении земляного полотна из выемок в насыпь и из боковых резервов в насыпь высотой до 1...1,5 м (рис. 2.5). Такие работы производят при обязательном согласовании с заказчиком. Рабочий цикл бульдозера при возведении земляного полотна состоит из зарезания грунта, его перемещения, укладки и обратного холостого хода в резерв. При зарезании и наборе грунта его стружка может иметь клиновидную, гребенчатую и ленточную форму (рис. 2.6).

При разработке тяжелого грунта сопротивления резанию значительны, поэтому рекомендуется приподнимать отвал с последующим его заглублением. В результате образуется гребенчатая форма стружки. Рекомендуемые ее размеры: $h_1 = 25...30$ см, $l_1 = 3...3,5$ м; $h_2 = 15...12$ см, $l_2 = 2...2,5$ м; $h_3 = 12...10$ см, $l_3 = 1,5...2,0$ м.

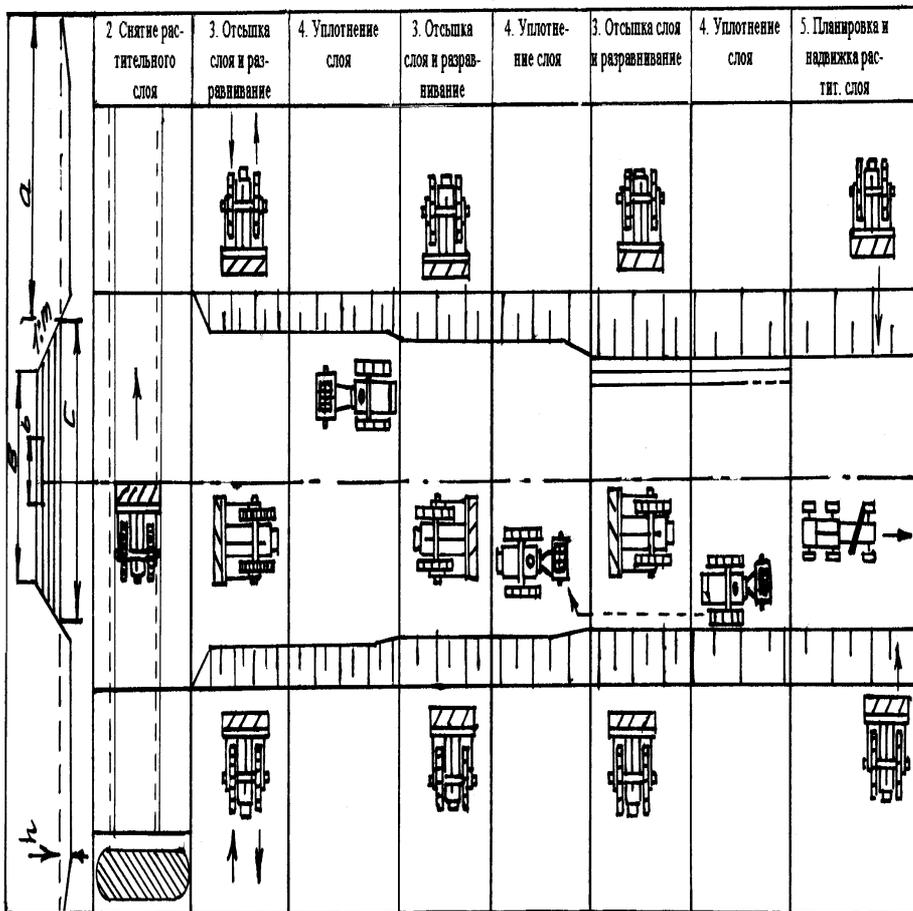


Рис. 2.5. Технологическая схема возведения насыпи бульдозерами из двусторонних боковых резервов:

- 1 – поперечный профиль земляного полотна; 2 – снятие растительного слоя с укладкой в боковые валы; 3 – отсыпка слоев с траншейной разработкой в резерве и послойным выравниванием в насыпи; 4 – послойное уплотнение грунта в насыпи; 5 – планировка насыпи и резервов автогрейдером и навodka растительного грунта из боковых валов бульдозером

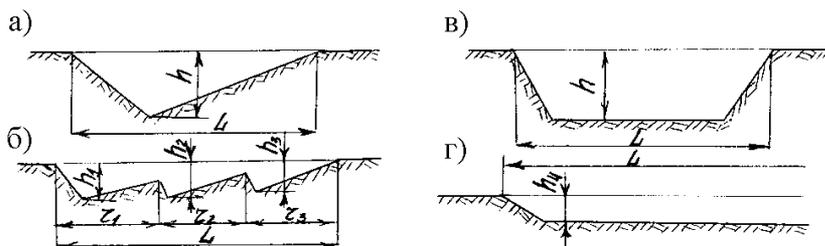


Рис. 2.6. Форма стружек грунта, срезаемых бульдозером:
а – клиновидная; б – гребенчатая; в, г – ленточная

Легкие грунты разрабатываются при постоянной наибольшей глубине резания (рис. 2.6 в). Снятие растительного слоя толщиной 10...15 см (рис. 2.6 г) также производится при ленточном резании.

Основными сопротивлениями при работе бульдозера являются:

1) сопротивление срезанию и деформации грунта отвалом

$$W_1 = s b k_k, \text{ кН}, \quad (2.25)$$

где s – глубина резания, м;

b – ширина резания, м;

k_k – удельное сопротивление грунта срезанию и деформации, зависящее от категории грунта и его состояния, кН/м^2 : для грунтов I категории $k_k = 25 \dots 30 \text{ кН/м}^2$; для II категории $k_k = 40 \dots 60 \text{ кН/м}^2$; для III категории $k_k = 60 \dots 120 \text{ кН/м}^2$;

2) сопротивление волочению призмы грунта впереди отвала

$$W_2 = G_{\text{гр}} f, \text{ кН}, \quad (2.26)$$

где $G_{\text{гр}}$ – вес грунта перед отвалом, кН,

$$G_{\text{гр}} = \frac{a^2 l \rho g}{2 \text{tg} \varphi}, \quad (2.27)$$

где a – высота отвала, м;

l – длина отвала, м;

ρ – плотность грунта, кг/м^3 ;

g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

φ – угол естественного откоса грунта, принимается $0,5 \dots 0,7$ рад;

f – коэффициент трения грунта по грунту равный $0,7 \dots 1,2$;

3) сопротивление трению грунта по отвалу

$$W_3 = G_{\text{тр}} f_1 \cos^2 \gamma, \text{ кН}, \quad (2.28)$$

где f_1 – коэффициент трения грунта о сталь, $f_1 = 0,4 \dots 0,6$;

γ – угол резания ножа отвала;

4) сопротивление движению трактора как транспортного средства

$$W_4 = G_{\text{Т}} (f_0 \pm i), \text{ кН}, \quad (2.29)$$

где $G_{\text{Т}}$ – вес трактора, кН;

f_0 – коэффициент сопротивления движению трактора (0,08...0,15);

i – уклон местности.

Производительность бульдозера при резании и перемещении грунта зависит от категории грунта, расстояния перемещения, уклонов местности, характера и способа производства работ и определяется по формуле

$$\Pi = \frac{3600 \cdot V k_{\text{в}}}{T_{\text{ц}} k_{\text{р}}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.30)$$

где V – объем грунта, перемещаемого бульдозером,

$$V = 0,6 H^2 L, \text{ м}^3, \quad (2.31)$$

где H – высота отвала, м;

L – длина отвала, м;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования во времени, $k_{\text{в}} = 0,85 \dots 0,9$;

$T_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла, с;

$k_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления грунта, $k_{\text{р}} = 1,1 \dots 1,3$.

Продолжительность цикла работы бульдозера определяется из выражения

$$T_{\text{ц}} = \frac{L_{\text{р}}}{v_{\text{р}}} + \frac{L_{\text{п}}}{v_{\text{п}}} + \frac{L_{\text{р}} + L_{\text{п}}}{v_{\text{х}}} + 2t_{\text{п}} + t_{\text{с}} + 2t_{\text{о}}, \text{ с}, \quad (2.32)$$

где $L_{\text{р}}$ – путь резания грунта, $L_{\text{р}} = 6 \dots 10$ м;

$v_{\text{р}}$ – скорость движения трактора при наборе грунта, $v_{\text{р}} = 0,4 \dots 0,5$ м/с;

- $L_{\text{п}}$ – путь перемещения грунта, м;
- $v_{\text{п}}$ – скорость движения трактора при перемещении грунта, $v_{\text{п}} = 0,9 \dots 1,2$ м/с;
- $v_{\text{х}}$ – скорость холостого хода, $v_{\text{х}} = 1,1 \dots 1,3$ м/с;
- $t_{\text{н}}$ – время, необходимое для разворота трактора, $t_{\text{н}} \approx 10$ с;
- $t_{\text{с}}$ – время, затрачиваемое на переключение передач, $t_{\text{с}} \approx 5$ с;
- $t_{\text{о}}$ – время, затрачиваемое на опускание и подъем отвала, $t_{\text{о}} \approx 1 \dots 2$ с.

При высоте насыпей более 1,5 м и при расстоянии продольного перемещения грунта более 100 м эффективнее применять для землеройно-транспортных работ скреперы.

При разработке грунта из боковых резервов с перемещением его в насыпь применяют схемы движения скреперов: по зигзагу, по восьмерке, по эллипсу, по спирали (рис. 2.7). Главным критерием при выборе схемы является обеспечение минимального угла поворота скрепера в грузежном состоянии.

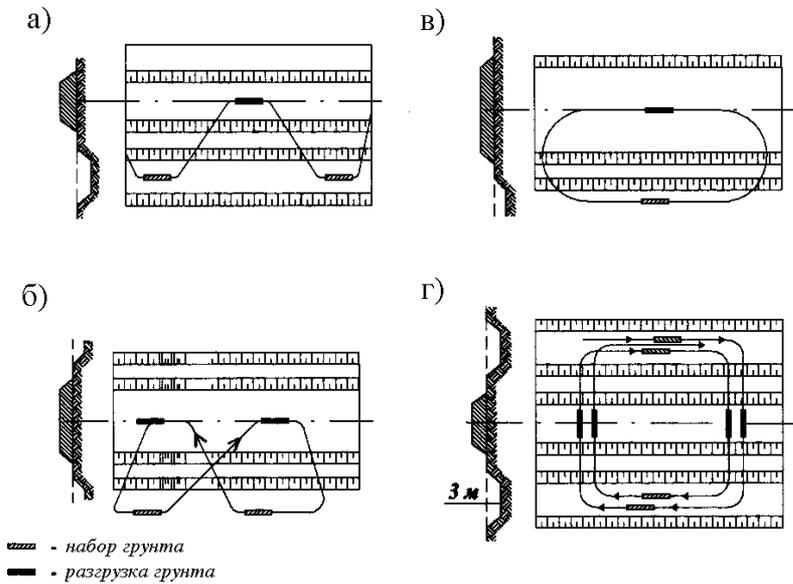


Рис. 2.7. Схемы движения скреперов при разработке грунта из притрассового резерва:
а – по зигзагу; б – по восьмерке; в – по эллипсу; г – по спирали

Самой рациональной является зигзагообразная схема, работы по которой ведут при длине участка 200...300 м и более. При разработке грунта из односторонних резервов и небольшой длине участка (около 100 м) рекомендуется эллиптическая, из двусторонних резервов – спиральная схема движения скрепера. Работы следует выполнять одновременно на двух захватках: на одной – отсыпка насыпи, на другой – разравнивание и уплотнение грунта.

Основными видами сопротивления работе скрепера являются:

1) сопротивление перемещению скрепера с ковшем, наполненным грунтом:

$$W_1 = (G_{ск} + G_{гр})(f_0 \pm i), \text{ Н}, \quad (2.33)$$

где $G_{ск}$ – вес скрепера, Н;

$G_{гр}$ – вес грунта в ковше,

$$G_{гр} = q_k \rho g k_3, \text{ Н}, \quad (2.34)$$

где q_k – геометрическая емкость ковша, м;

ρ – плотность грунта, Н/м³;

g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

k_3 – коэффициент заполнения ковша грунтом, $k_3 = 0,8 \dots 1,1$;

2) сопротивление грунта резанию

$$W_2 = s b k_k, \text{ Н}, \quad (2.35)$$

где b – ширина резания, м;

s – глубина резания, $s = 0,1 \dots 0,3 \text{ м}$;

k_k – сопротивление грунта резанию;

3) сопротивление подъему грунта и перемещению его внутри ковша

$$W_3 = \rho g b k_{тр} H^2 + \rho g s b H, \text{ Н}, \quad (2.36)$$

где $k_{тр}$ – коэффициент, учитывающий трение грунта внутри ковша, для глины $k_{тр} = 0,24 \dots 0,31$; для суглинка $k_{тр} = 0,44 \dots 0,75$; для песка $k_{тр} = 0,46 \dots 0,50$;

H – высота подъема грунта в ковше: при емкости ковша $1,5 \text{ м}^3$ $H = 0,9 \dots 1,1 \text{ м}$; при 6 м^3 $H = 1,3 \dots 2,5 \text{ м}$; при 10 м^3 $H = 1,8 \dots 2,0 \text{ м}$; при 15 м^3 $H = 2,0 \dots 3 \text{ м}$;

4) сопротивление перемещению призмы грунта впереди ковша

$$W_4 = \rho g b H^2 Y f', \text{ Н}, \quad (2.37)$$

где Y – примерное соотношение высот призмы волочения к высоте загрузки в ковше, $Y = 0,3 \dots 0,6$;

f' – коэффициент трения грунта о грунт, $f' = 0,6$.

Общее сопротивление движению скрепера равно сумме сопротивлений, вычисленных по вышеприведенным формулам:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4, \text{ Н}. \quad (2.38)$$

Производительность скреперов аналогична производительности бульдозеров – прямо пропорциональна количеству перевозимого за один раз грунта и обратно пропорциональна времени, затраченному на один цикл работы,

$$\Pi = \frac{q_k - k_3 - k_b}{t_{\text{ц}} \cdot k_p}, \quad (2.39)$$

где k_b – коэффициент использования машины по времени, $k_b = 0,8 \dots 0,85$;

k_p – коэффициент разрыхления грунта, $k_p = 1,1 \dots 1,3$;

$t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла, с,

$$t_{\text{ц}} = \frac{L_{\text{н}}}{v_{\text{н}}} + \frac{L_{\text{г}}}{v_{\text{г}}} + \frac{L_{\text{п}}}{v_{\text{п}}} + \frac{L_{\text{х}}}{v_{\text{х}}} + nt_{\text{с}} + 2t_{\text{о}}, \quad (2.40)$$

где $L_{\text{н}}$, $L_{\text{г}}$, $L_{\text{п}}$, $L_{\text{х}}$ – соответственно путь набора грунта, путь с грузом, путь при разгрузке и длина холостого пути;

$v_{\text{н}}$, $v_{\text{г}}$, $v_{\text{п}}$, $v_{\text{х}}$ – скорости движения скрепера при соответствующих режимах;

$t_{\text{с}}$ – время, необходимое для переключения передачи, $t_{\text{с}} = 4 \dots 6$ с;

n – количество переключений за время цикла;

$t_{\text{о}}$ – время на разворот скрепера, $t_{\text{о}} = 30 \dots 60$ с.

Автогрейдеры предназначены, главным образом, для работы по разравниванию и профилированию грунта. Для отсыпки насыпей их применяют при строительстве автомобильных дорог низких категорий и при небольших объемах работ (высоте насыпи до 0,8 м), а также для строительства временных дорог и дорог высоких категорий. Технологический процесс выполнения работ автогрейдером состоит из ряда последовательных операций: зарезания грунта, поперечного перемещения его, послыного разравнивания. Количество проходов автогрейдера для перемещения грунта составляет около 75% от общего количества проходов, требуемого для возведения насыпи. Общее количество проходов автогрейдера (с отвалом 3,5...3,6 м и мощностью двигателя 70...100 л.с.) составляет 360...400 на 1 км при насыпях высотой 0,75...0,8 м.

Грейдеры-элеваторы применяют при возведении насыпи высотой до 0,8 м из односторонних резервов или до 1,2...1,5 м из двухсторонних в равнинной и слабохолмистой местности с небольшими продольными уклонами (до 50...70‰). Эти машины также эффективно применять для разработки сосредоточенных резервов с погрузкой грунта в транспортные средства. При этом транспортные средства движутся параллельно грейдер-элеватору, причем смену транспортных единиц необходимо производить непрерывно с интервалами в 1,5...3 мин (в зависимости от их грузоподъемности). Для повышения производительности грейдер-элеватора устраивают с помощью автогрейдера или бульдозера забой с вертикальными стенками высотой до 0,4 м, а грунт режут стружкой шириной 25...30 см. Оптимальной длиной захватки считают 500...800 м.

В процессе работы грейдер-элеватор испытывает следующие сопротивления:

1) сопротивление перемещению машины (составляющие формулы те же, что в аналогичной формуле для скрепера)

$$W_1 = (G_{гр\ эл} + G_{гр})(f_0 \pm i), \text{ Н}; \quad (2.41)$$

2) сопротивление грунта резанию

$$W_2 = F_c k_k, \text{ Н}, \quad (2.42)$$

где k_k – коэффициент сопротивления грунта резанию;

F_c – площадь сечения стружки, вырезаемая одним диском, м²,

$$F_c = \frac{bS}{2} + \frac{b}{4} \cdot \sqrt{4S^2 - b^2}, \quad (2.43)$$

где b – боковая подача дискового плуга, м;

S – глубина резания, в тяжелых грунтах – 0,5, в средних – 0,45, в рыхлых – 0,35 м.

Общее сопротивление для грейдер-элеватора равно

$$W = W_1 + W_2, \text{ Н.} \quad (2.44)$$

Производительность грейдер-элеватора определяется из выражения

$$\Pi = \frac{Vk_B}{t_{ц}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.45)$$

где V – объем грунта, разрабатываемого за одну захватку,

$$V = L S b_{ш} \eta_1 \eta_2, \text{ м}^3, \quad (2.46)$$

где L – длина захватки, м;

S – глубина резания, м;

$b_{ш}$ – ширина борозды поверху, м, на тяжелых грунтах $b_{ш} = 0,22 \dots 0,29$ м; средних – 0,27; легких – 0,39; рыхлых – 0,29...0,32;

η_1 – коэффициент потери грунта;

η_2 – поправочный коэффициент на форму борозды, $\eta_2 = 0,81 \dots 0,87$;

Время рабочего цикла зависит от характера работы и определяется по формулам:

1) при работе в отвал по обе стороны

$$t_{ц} = \frac{L_p}{v_p} + t_{п}, \quad (2.47)$$

где v_p – рабочая скорость движения, м/с;

$t_{п}$ – время поворота, $t_{п} = 60 \dots 70$ с;

2) при работе в отвал на одну сторону

$$t_{ц} = \frac{L_p}{v_p} + \frac{L_x}{v_x} + 2t_{п}, \quad (2.48)$$

где v_x – скорость холостого хода, м/с;

3) при работе с погрузкой грунта на транспортные средства

$$t_{ц} = \frac{L_p}{v_p} + (n_a - 1) \cdot t_a + t_{п}, \quad (2.49)$$

где n_a – число автомобилей, загружаемых на разрабатываемом участке;

t_a – время, затраченное на смену автомобилей, $t_a = 10 \dots 15$ с.

Одноковшовые экскаваторы применяются при производстве сосредоточенных земляных работ и отсыпке насыпей из отдаленных резервов. Экскаваторы на гусеничном ходу применяются при сосредоточенных работах, когда не требуются частые перебазировки, при слабых основаниях. Экскаваторы на пневмоколесном ходу целесообразно применять при грунтах с достаточной несущей способностью, на рассредоточенных работах.

Основные объемы работ выполняют экскаваторами с оборудованием прямая лопата. Драглайн применяют при необходимости разработки грунтов, расположенных ниже уровня стоянки экскаватора, когда работа с подошвы забоя затруднена из-за наличия грунтовых вод. Обратную лопату применяют при разработке траншей и котлованов под фундаменты.

Разработку выемки или карьера экскаватором прямая лопата производят:

1) боковым забоем, когда транспортные средства размещаются сбоку экскаватора в одном или разных уровнях (рис. 2.8);

2) лобовым забоем, когда экскаватор разрабатывает траншею, а грунт выгружается в транспортные средства, размещенные сзади экскаватора на дне этой траншеи в одном с ним уровне (рис. 2.9).

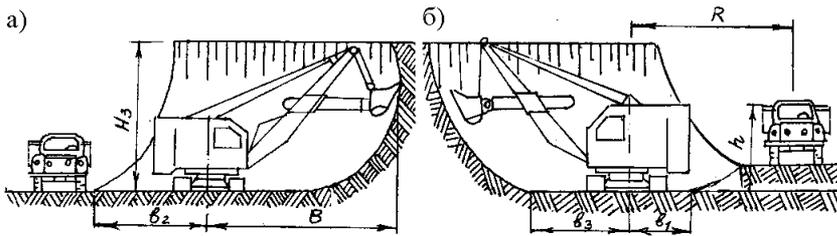


Рис. 2.8. Схема бокового забоя:

а – при погрузке грунта в автомобиль-самосвал на уровне стоянки экскаватора;
 б – то же при размещении автомобиля-самосвала на уровень выше, чем стоянка экскаватора; R – наибольший радиус выгрузки; B – наибольший радиус резанья;
 h – наибольшая высота выгрузки; b_1 – наименьший радиус выгрузки

Разработка боковым забоем предпочтительна, так как обеспечивает лучшие условия для подъезда и погрузки транспортных средств. Размеры забоев определяются рабочими размерами применяемых моделей экскаваторов. Наибольшее расстояние B от оси экскаватора до бокового откоса забоя следует принимать на 0,5 м меньше наибольшего радиуса резания R , чтобы не оставалось недоработанного грунта. Наибольшее расстояние b_3 от оси экскаватора до подошвы забоя принимается на 0,2 м меньше радиуса резания B на уровне стоянки экскаватора. Рекомендуемые размеры забоев при работе экскаватора с прямой лопатой с погрузкой грунта в транспортные средства приведены в табл. 2.7.

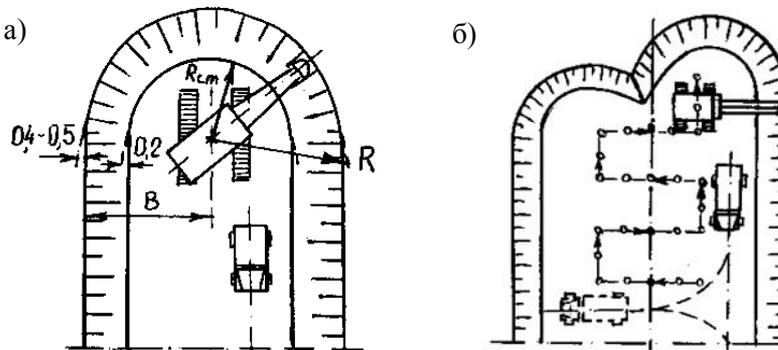


Рис. 2.9. Схемы разработки выемки экскаватором:
 а – лобовым забоем; б – уширенным забоем

Таблица 2.7

Рекомендуемые размеры забоев

Показатели	Размеры забоя, м, при объеме ковша экскаватора, м ³					
	0,3	0,4...0,5	0,6...0,65	1...1,25	1,6	
Ширина подошвы забоя от оси пути экскаватора до стенки забоя, м	3	4	4,5	5	5	
Ширина подошвы забоя от оси пути экскаватора до погрузки грунта, м	2	2,8...2,5	3	3,6...2,5	3,6...2,5	
Предельная высота верхней кромки борта кузова транспортного средства над уровнем подошвы забоя, м	3	4,5	5,5	5,5	5	
Наибольшая высота резания, м	4,8...6	6,5	6,5...8	8...9	9...9,5	
Наименьшая высота забоя, обеспечивающая наполнение ковша с «шапкой», при грунтах:						
	легких (I и II группы)	1,5	1,5	2,5	3	3
	средних (III группы)	2,5	2,5	4,5	4,5	4,5
	тяжелых (IV группы)	3	3,5	5,5	6	6
Наименьшая допустимая высота забоя, м, в разных грунтах:						
	легких (I и II группы)	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9
	средних (III группы)	1,0	1,0	1,0	1,15	1,3
	тяжелых (IV группы)	1,5	1,5...2,1	1,8...2,5	1,8...2,5	2...2,5

Примечания.

1. Ширина подошвы забоя приведена для случая, когда погрузочный путь расположен на уровне или выше ее уровня.

2. В сыпучих грунтах высота забоя может быть увеличена сверх наибольшей высоты резания на 1,5...2 м. Наибольшую допустимую высоту забоя в связных и плотных грунтах принимают равной наибольшей высоте резания экскаватора данного типа.

Движение транспортных средств, занятых перемещением грунта, следует регулировать по всей ширине отсыпаемого слоя насыпи, чтобы не образовывать колеи и обеспечивать более равномерное уплотнение слоя. Предварительная планировка слоя обязательна.

Производительность одноковшового экскаватора определяется из выражения

$$П = \frac{3600 \cdot q \cdot k_n \cdot k_b}{t_{ц} \cdot k_p}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.50)$$

где q – геометрическая емкость ковша, м;

k_n – коэффициент наполнения ковша, равный при нормальных условиях 1, при благоприятных – 1,05...1,10, при неблагоприятных – 0,9;

k_b – коэффициент использования ковша по времени, $k_b = 0,75...0,95$;

$t_{ц}$ – время цикла, с;

k_p – коэффициент разрыхления грунта, для легких грунтов – 1,15; для средних – 1,25; для тяжелых – 1,33; для скальных – 1,72.

Продолжительность цикла определяется из выражения

$$t_{ц} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7}{\xi}, \text{ с}, \quad (2.51)$$

где t_1 – время наполнения ковша грунтом в забое, с;

t_2 – время подъема ковша на высоту выгрузки, с;

t_3 – время поворота платформы экскаватора вместе со стрелой и ковшом к месту отвала, с;

t_4 – время опорожнения ковша, с;

t_5 – время обратного поворота платформы к забою, с;

t_6 – время опускания ковша в исходное положение, с;

t_7 – время пауз в течение цикла, с;

ξ – коэффициент, учитывающий совмещение различных операций во времени ($\xi = 1,15...1,30$).

2.5. Сооружение земляного полотна на косогоре и заболоченных участках

Земляное полотно на косогорах устраивают в виде насыпи, полувыемки-полунасыпи, выемки. При устройстве земляного полотна с поперечным профилем в виде полувыемки-полунасыпи поперечное перемещение грунта из выемки в насыпь выполняют бульдозерами или экскаваторами с прямой лопатой. При этом обязательно устройство нагорных водоотводных канав. При крутизне откоса до 20° зарезание и перемещение грунта ведут перпендикулярными к оси земляного полотна движениями бульдозера; при крутизне более

20° – универсальными отвалами с зарезанием грунта частью отвала. Для обеспечения устойчивости насыпи на косогоре необходимо предварительно нарезать уступы.

Насыпи на болотах возводят с посадкой на минеральное дно или с оставлением торфа в основании. Выбор конструкции земляного полотна определяется в зависимости от типа болот. В соответствии со СНиП 2.05.02-85 различают 3 типа болот:

1) заполненные болотными грунтами, прочность которых в природном состоянии обеспечивает возможность возведения насыпи высотой до 3 м без возникновения процесса бокового выдавливания слабого грунта;

2) содержащие в пределах болотной толщи хотя бы один слой, который может выдавливаться при некоторой интенсивности возведения насыпи высотой до 3 м, но не выдавливаться при меньшей интенсивности возведения насыпи;

3) содержащие в пределах болотной толщи хотя бы один слой, который при возведении насыпи высотой до 3 м выдавливается независимо от интенсивности возведения насыпи.

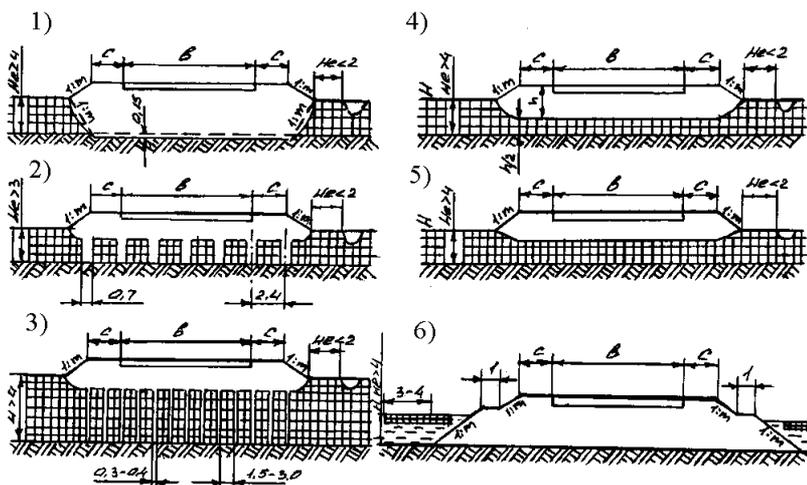


Рис. 2.10. Конструкции поперечного профиля земляного полотна на болотах:
 1 – насыпь на болотах 1-го типа с полным выторфовыванием; 2 – насыпь на болотах 1-го типа с продольными прорезями; 3 – насыпь на болотах 1-го типа с вертикальными дренажами; 4 – насыпь на болотах 1-го и 2-го типов с частичным выторфовыванием; 5 – насыпь на болотах 1-го и 2-го типов без выторфовывания; 6 – насыпь на болотах 2-го и 3-го типов с погружением на минеральное дно

На болотах 1-го типа насыпь погружают в земляную залежь (при глубине болота до 4 м) или отжимают болотные грунты весом насыпи (рис. 2.10).

На болотах 2-го типа (с сапрофелями) насыпь возводят с отсыпкой грунта на поверхность болота или с посадкой на минеральное дно.

На болотах 3-го типа (со сплавиной) насыпи возводят, в основном, с погружением на минеральное дно вместе со сплавиной. Торфяную сплавину удаляют с полным или частичным выторфовыванием.

Отсыпку насыпи производят "с головы" автомобилями-самосвалами, транспортерами большой длины (рис. 2.11).

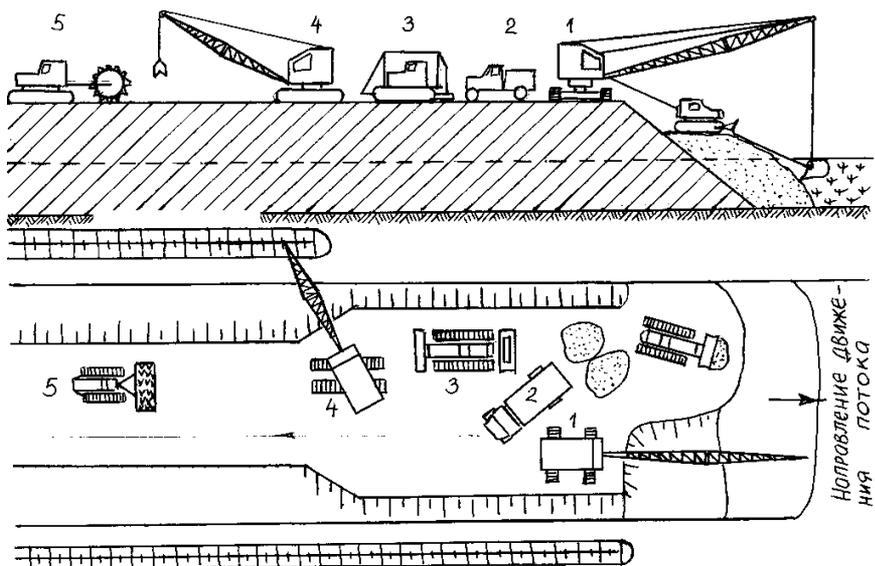


Рис. 2.11. Схема возведения насыпи "с головы":

- 1 – экскаватор, оборудованный ковшем драглайн на выторфовывании;
- 2 – автомобили-самосвалы и другие транспортные средства на вывозке торфа и подвозке грунта;
- 3 – трамбующая машина на тракторе с плитами для уплотнения нижних слоев насыпи;
- 4 – экскаватор с оборудованием грейфера на прокопке торфоприемных канав;
- 5 – кулачковый каток;
- 6 – бульдозер на перемещении и разравнивании перевезенного грунта при возведении насыпи

Земляное полотно с дренажными (продольными) прорезями устраивают на болотах 1-го типа глубиной до 3 м; при большей глубине применяют конструкцию с вертикальными дренами. Для устройства прорезей применяют одноковшовые или многоковшовые экс-

каваторы с ходовой частью болотной модификации. Технология работ включает: устройство прорезей экскаваторами; доставку дренующего грунта автомобилями или другим транспортом; перемещение песка и засыпку прорезей бульдозером; послойную отсыпку насыпи до необходимой высоты.

Устройство земляного полотна с вертикальными дренами включает следующие основные технологические процессы: устройство песчаной подушки; устройство вертикальных дрен; возведение насыпи до высоты, обеспечивающей необходимую пригрузку; снятие пригрузочного слоя и выравнивание земляного полотна (рис. 2.12). Вертикальные дренаи устраивают различными способами: забивкой специального рабочего органа (пуансона), а затем – засыпкой образовавшейся скважины песком; забивкой или вибропогружением специальной обсадной трубы, которую заполняют песком, а затем извлекают, оставляя столб из песка в болотной массе; гидробурением скважины с последующей засыпкой ее песком; погружением дренажных лент из картона или древесных отходов.

Наиболее широко применяется способ погружения обсадной трубы. При погружении ее конец закрывают пробкой из бетона, который остается на дне каждой дрены, или открывающимся при подъеме наконечником. При устройстве вертикальных дрен на глубину до 12 м вместо подъемного крана применяют экскаваторы со стрелой 18 м.

Производительность экскаватора-драглайна на выторфовывании определяется из выражения

$$P = \frac{q \cdot k_n \cdot k_b}{k_p}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.52)$$

где q – геометрический объем ковша, м³;

n – количество циклов в час;

k_n – коэффициент наполнения ковша, зависящий от качества торфа и характера обводнения болота, $k_n = 1,2$ – при торфе без корней; $k_n = 0,85$ – при наличии корней; $k_n = 0,7$ – при сильном увлажнении болота;

k_b – коэффициент использования рабочего времени на чистую экскавацию, $k_b = 0,66 \dots 0,7$;

k_p – коэффициент разрыхления торфа, $k_p = 1,3$.

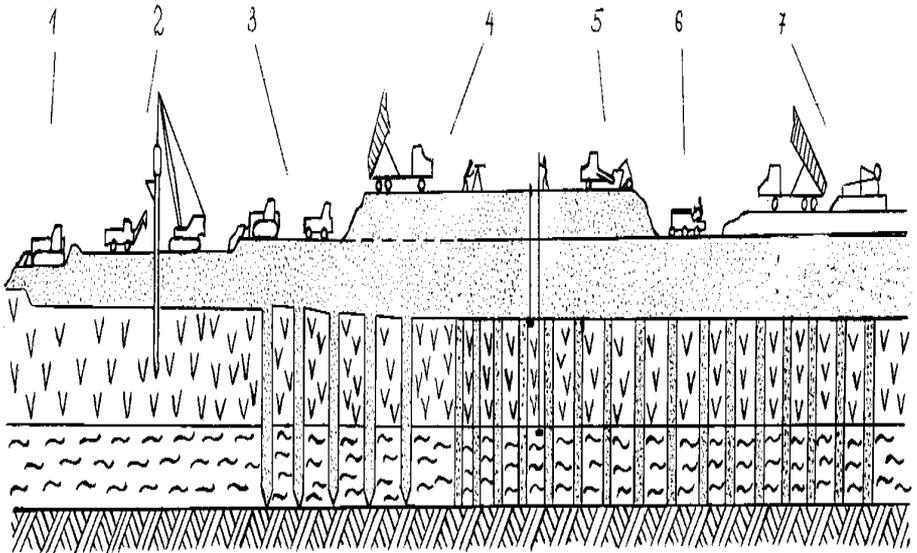


Рис. 2.12. Схема устройства земляного полотна с вертикальными дренами:

1 – навдвигка бульдозером рабочего слоя; 2 – устройство дрен с загрузкой песком; 3 – наращивание земляного полотна до проектной отметки и устройство временной пригрузки; 4 – контроль осадки; 5 – снятие пригрузочного слоя; 6 – доуплотнение земляного полотна; 7 – устройство дорожной одежды

2.6. Уплотнение грунта при сооружении земляного полотна

Земляное полотно уплотняют для того, чтобы превратить насыпной грунт в плотный и прочный слой с заданными расчетными параметрами. Недостаточно уплотненный грунт с течением времени дает неравномерную осадку, из-за чего на поверхности покрытия возникают неровности, и оно разрушается. Тщательное уплотнение грунта повышает его прочность и водоустойчивость.

Оценкой результата служит требуемая плотность земляного полотна

$$\rho_{\text{тр}} = k \cdot \rho_{\text{max}}, \quad (2.53)$$

где $\rho_{\text{тр}}$ – требуемая плотность грунта;

k – коэффициент требуемого уплотнения грунта (табл. 2.8);

ρ_{max} – максимальная плотность грунта.

Т а б л и ц а 2.8

Значения минимального требуемого коэффициента
уплотнения грунта

Виды земляного полотна	Часть земляного полотна	Глубина расположения слоя от поверхности покрытия, м	Значение коэффициента уплотнения во II дорожно-климатической зоне	
			усовершенствованные капитальные покрытия	усовершенствованные облегченные и переходные покрытия
Насыпи	верхняя	до 1,5	1,00...0,98	0,98...0,95
	нижняя неподтопляемая	1,5...6,0	0,95	0,95
	нижняя подтопляемая	более 6,0	0,98	0,95
Выемки и естественные основания низких насыпей	в слое сезонного промерзания		1,00...0,98	0,98...0,95
	ниже слоя сезонного промерзания		0,95	0,95...0,92

Максимальная плотность грунта определяется методом стандартного уплотнения на приборе Союздорнии (СНБ 3.03.02-97). Метод заключается в том, что образец грунта уплотняют послойно гирей массой 2,5 кг, падающей с высоты 30 см, в 3 приема в разъемном цилиндре объемом 1 л. Каждый слой грунта уплотняют 40 ударами груза, так что общее количество ударов составляет 120. По результатам испытаний строится график зависимости плотности сухого грунта от влажности (рис. 2.13). По графику определяют оптимальную влажность и максимальную плотность. Циклы повторяют при различной влажности.

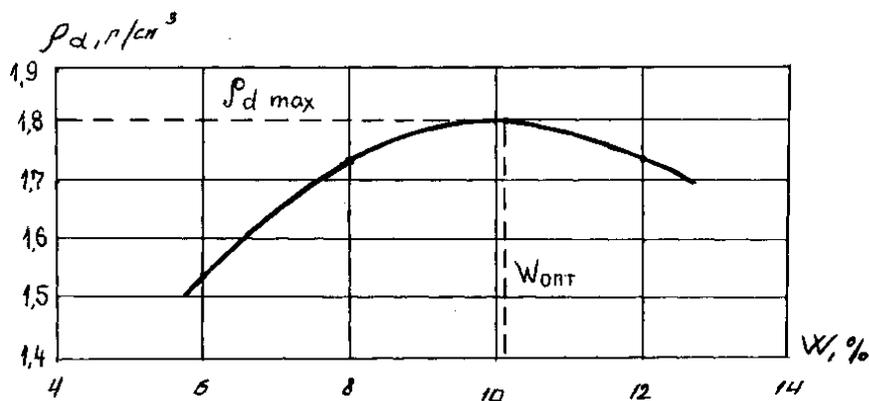


Рис. 2.13. График зависимости плотности сухого грунта от влажности

Под **оптимальной влажностью** следует понимать влажность, при которой можно достигнуть наибольшей (максимальной) плотности, а следовательно, минимальной пористости грунта при определенной работе уплотняющих механизмов.

Максимальную плотность можно получить расчетным путем из выражения

$$\rho_{d \text{ max}} = \frac{\rho_s \cdot (100 - v_B)}{100 + \rho_s W_{\text{опт}}}, \text{ г/см}^3, \quad (2.54)$$

где ρ_s — плотность частиц грунта, определяемая пикнометрическим методом по ГОСТ 5180-84, для песков $\rho_s = 2,65 \dots 2,67 \text{ г/см}^3$; супесей $\rho_s = 2,68 \dots 2,72 \text{ г/см}^3$; суглинков $\rho_s = 2,69 \dots 2,73 \text{ г/см}^3$; глин $\rho_s = 2,71 \dots 2,76 \text{ г/см}^3$;

v_B – содержание воздуха в грунте при оптимальной влажности, для супесей $v_B = 6...8\%$; суглинков $v_B = 3...4\%$; глин $v_B = 4...5\%$;

$W_{\text{опт}}$ – оптимальная влажность, которую можно определить:

1) по влажности границы текучести:

$$W_{\text{опт}} = \alpha_1 W_L, \quad (2.55)$$

где W_L – влажность границы текучести грунта, определяемая методом балансирующего конуса, %;

α_1 – переходной коэффициент, для супесей $\alpha_1 = 0,75...0,70$; суглинков $\alpha_1 = 0,60...0,55$; глин $\alpha_1 = 0,50...0,45$;

2) по влажности границы раскатывания:

$$W_{\text{опт}} = W_p - \alpha_2, \quad (2.56)$$

где W_p – влажность границы раскатывания, %;

α_2 – поправочный коэффициент, для суглинков $\alpha_2 = 1...2$; глин $\alpha_2 = 2...3$.

В настоящее время при применении высокоэффективных машин для уплотнения грунта его плотность в насыпи получают большей, чем в резерве. Если при приемке земляных работ обмер производят по объему грунта в выемке или резерве, – необходимо знать коэффициент относительного уплотнения грунта K_1 , представляющий собой отношение плотности сухого грунта в насыпи к плотности сухого грунта в резерве или объема грунта в резерве к объему грунта в насыпи:

$$K_1 = \frac{\rho_{d \text{нас}}}{\rho_{d \text{рез}}}. \quad (2.57)$$

Для достижения требуемых норм плотности грунты должны иметь влажность при уплотнении:

1) связные грунты:

$$W = (0,9...1,2) W_{\text{опт}}; \quad (2.58)$$

2) несвязные и малосвязные грунты:

$$W = (0,8...1,2) W_{\text{опт}}. \quad (2.59)$$

Для уплотнения грунтов применяют разнообразные машины, которые по способу действия на грунт можно разделить на 3 группы:

1) катки, уплотняющие грунт в процессе движения по его поверхности за несколько проходов по одному следу (валцы катков могут быть гладкие, кулачковые или в виде пневматических шин);

2) ударные или трамбуемые машины-трамбовки пневматического и взрывного действия, электротрамбовки, молотковые трамбовочные машины, трамбуемые плиты;

3) вибрационные машины.

Толщину уплотняемого слоя грунта в плотном теле рекомендуется определять расчетом для различных уплотняющих средств.

Для катков с гладкими вальцами

$$H_o = k \frac{W_{\phi}}{W_{\text{опт}}} \sqrt{qR}, \quad (2.60)$$

где k – коэффициент, равный для связных грунтов – 0,25, для несвязных – 0,35;

W_{ϕ} – фактическая влажность грунта, %;

$W_{\text{опт}}$ – оптимальная влажность грунта, %;

q – линейное давление, кгс/см;

R – радиус вальца катка, см.

Для кулачковых катков

$$H_o = 65 (L + 0,2b - h_p), \quad (2.61)$$

где L – длина кулачка, см;

b – минимальный размер опорной поверхности кулачка, см;

h_p – глубина рыхания уплотненного слоя грунта кулачками, см (около 5 см).

Для катков на пневматических шинах

$$H_o = 0,53 \frac{W_{\phi}}{W_{\text{опт}}} \sqrt{Q}, \quad (2.62)$$

где Q – нагрузка на колесо катка, Н.

Для *трамбующих машин*

$$H_o = 0,7 \frac{W_{\phi}}{W_{\text{опт}}} H_{\text{пр}}, \quad (2.63)$$

где $H_{\text{пр}}$ – предельная толщина уплотнения грунта (40...120 мм).

Ориентировочная толщина хорошо уплотненного слоя грунта (в плотном теле) различными машинами представлена в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Значения толщины уплотненного грунта

Вид уплотняющей машины	Масса машины или уплотняющего органа, т	Толщина уплотненного слоя грунта, см
Кулачковый прицепной каток	9...18	15...25
Прицепной каток на пневмошинах	12...15	10...20
Полуприцепной каток на пневмошинах	25...30	20...35
Полуприцепной каток на пневмошинах	40...60	25...40
Решетчатый прицепной каток	25...35	25...40
Трамбующая машина	навесная на тракторе	30...50
Трамбующая плита на экскаваторе	2 т	70...90

Необходимое число проходов по одному следу в зависимости от требуемой степени уплотнения и типа машин определяют по формулам:

для *катков* всех типов

$$n = \frac{A_{\text{уд}} \cdot H_o}{q \cdot f}, \quad (2.64)$$

где $A_{\text{уд}}$ – удельная работа машин для уплотнения, для связных грунтов $A_{\text{уд}} = 2 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при коэффициенте уплотнения $K = 0,95$; $A_{\text{уд}} = 4 \text{ Н} \cdot \text{м}$

при $K = 0,98$; $A_{уд} = 6 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при $K = 1,00$ (для несвязных грунтов значения $A_{уд}$ уменьшают в 1,5 раза);

H_0 – толщина уплотняемого слоя в плотном теле, см;

q – линейное давление катка, Н/м, определяемое из выражения

$$q = \frac{Q}{B}, \quad (2.65)$$

где Q – вес катка, Н;

B – ширина рабочей площади катка, м;

f – коэффициент сопротивления движению катка;

для **трамбующих машин** всех типов

$$n = \frac{A_{уд} \cdot H_0}{q_0 \cdot h}, \quad (2.66)$$

где q_0 – статическое давление трамбующего органа машины, МПа, определяемое из выражения

$$q_0 = \frac{Q}{F}, \quad (2.67)$$

где Q – вес трамбовки, Н;

F – площадь основания трамбовки, м^2 ;

h – высота падения трамбующего органа, м.

При проведении процесса уплотнения необходимо соблюдать обязательные условия для максимального уплотнения грунта:

1. Влажность должна соответствовать оптимальному значению W_0 . Если фактическая влажность меньше оптимальной ($W_\phi < W_0$), необходимо проводить доувлажнение грунта. При этом количество воды, необходимое для доувлажнения, рассчитывается по формуле

$$B = \frac{V(W_0 - W_\phi)}{100}, \text{ л/м}^2, \quad (2.68)$$

где V – объем уплотненного грунта, л/м^2 ;

W_0 – оптимальная влажность, %;

W_ϕ – фактическая влажность, %.

2. Определить толщину уплотняемого слоя H_0 и количество проходов уплотняющей техники по одному следу n по вышеприведенным выражениям. Окончательные значения H и n устанавливаются путем пробной укатки (РД 0219.1.20-2001) (табл. 2.10).

3. Обеспечить равномерное уплотнение по ширине и длине захватки.

Т а б л и ц а 2.10

Пробное уплотнение грунта

Операции	Состав контроля	Способ, метод контроля	Сроки, периодичность
Выбор площадки для пробного уплотнения	Типичность естественного основания и грунта	визуальный лабораторный	до начала работ
Разбивочные работы	Размеры площадки в плане; высотная разбивка толщин слоев	инструментальный	до начала работ
Контроль плотности естественного основания	Коэффициент уплотнения	лабораторный	до начала работ
Доуплотнение естественного основания (при необходимости)	Коэффициент уплотнения	лабораторный	до начала работ
Отсыпка и планировка грунта	Толщина слоя	инструментальный	в процессе работ
Прикатка легкими катками за 2...4 прохода	Число проходов; скорость движения катка	визуальный	в процессе работ
Уплотнение грунта	Схема укатки; число проходов; скорость катка	визуальный	в процессе работ
Контроль плотности грунта	Физико-механические показатели и коэффициент уплотнения грунта; количество проб; место расположения точек отбора проб	лабораторный визуальный инструментальный	после выравнивания и прикатки, через 4, 8 и n проходов катка по следу

Пробное уплотнение грунтов укаткой следует проводить перед началом и в процессе основных работ по возведению земляного полотна для всех разновидностей грунтов.

Минимальные размеры площадки для пробного уплотнения должны составлять: длина – 20 м, ширина – $3B_y$, где B_y – ширина уплотняемой полосы, принимаемая по технологической характеристике уплотняющей машины.

Коэффициент уплотнения естественного основания должен быть не ниже коэффициента уплотнения грунта пробного слоя.

Грунт пробного слоя отсыпается на всю ширину площадки и на полную толщину. Контроль толщины слоя производится не менее чем в 6-ти точках.

Грунты, предназначенные для пробного уплотнения, должны иметь влажность, близкую к оптимальной.

Уплотнение отсыпаемого слоя следует выполнять круговыми проходами, начиная с круговых полос.

Пробное уплотнение грунтов катками на пневматических шинах производится при скорости первых двух проходов не более 2 км/ч, промежуточных проходов – 12...15 км/ч. Скорость передвижения кулачковых, решетчатых и виброкатков – не более 2 км/ч.

Контроль плотности грунтов в процессе пробного уплотнения следует производить перед началом работы основной уплотняющей машины (после разравнивания или прикатки легкими катками связных грунтов), а затем – через 4, 8 и n проходов по одному следу катка.

Глубина контроля плотности грунта должна составлять 10...15 см при толщине слоя 30 см; при большей толщине слоя контроль плотности производится в трех уровнях (верхней, средней и нижней части слоя).

Гладкие катки наиболее пригодны для связных и малосвязных грунтов. Основной их недостаток в том, что они могут уплотнять только тонкие слои (не более 0,2 м) и требуют сравнительно большого числа проходов на малых скоростях.

Кулачковые катки предназначены, в основном, для связных и малосвязных грунтов. Обладая одинаковой с гладкими катками массой, они дают почти вдвое большую глубину уплотнения и требуют меньшего числа проходов. Кулачковые катки эффективнее работают в рыхлых и комковатых грунтах и совершенно непригодны в переувлажненных.

Катки на пневматических шинах могут уплотнять связные и несвязные грунты. Они значительно эффективнее цилиндрических катков с жестким ободом, поскольку площадь, по которой они опираются на грунт, по мере уплотнения уменьшается, что вызывает уменьшение глубины уплотнения и повышение давления.

Трамбующие плиты применяют в качестве навесного оборудования на кранах или экскаваторах. Они являются одним из наиболее эффективных средств уплотнения насыпей на глубину до 1,5 м и пригодны для работы в связных и несвязных грунтах.

Вибрационные машины воздействуют на грунт своей массой, одновременно сообщая грунту колебательные движения. Статическое давление машины на грунт должно составлять:

для переувлажненных песков – 30...40 МПа;

для песков оптимальной влажности – 60...100 МПа;

для супеси оптимальной влажности – 100...200 МПа.

Схема уплотнения насыпи прицепным катком на пневматических шинах изображена на рис. 2.14.

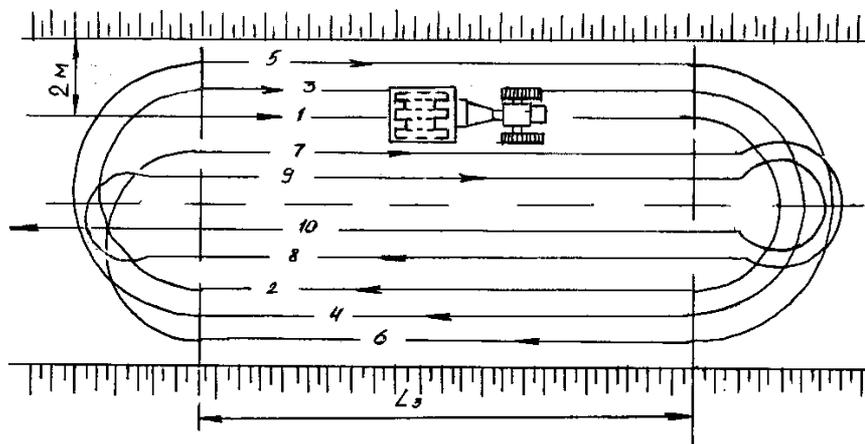


Рис. 2.14. Схема работы прицепного катка на пневматических шинах:
1...10 – последовательность проходов; L_3 – длина захватки

Для уплотнения насыпи следует постепенно смещать укатываемые полосы от краев к середине с перекрытием их на 0,20...0,25 м.

Производительность катков определяют по формуле

$$\Pi = A \frac{L_3 H_0 (b - b_0)}{\left(\frac{L_3}{v} + t_{\text{пов}} \right) \cdot n}, \quad (2.69)$$

где $A = T \cdot K_B$;

T – длительность смены;

K_B – коэффициент использования рабочего времени, $K_B = 0,8 \dots 0,9$;

L_3 – длина захватки, м;

H_0 – толщина уплотняемого слоя в плотном теле, м;

b – ширина вальца катка, м;

b_0 – ширина полосы перекрытия следа предыдущего прохода, м,

$b_0 = 0,2$ м;

v – рабочая скорость, м/с;

$t_{\text{пов}}$ – время на поворот, с;

n – необходимое число проходов по одному следу.

Производительность вибрационной машины определяют из выражения

$$\Pi = A \frac{(b - b_0) v H_0}{n}. \quad (2.70)$$

Производительность трамбующей машины можно определить из выражения

$$\Pi = A \frac{B_{\text{п}} v H_0}{n}, \quad (2.71)$$

где $B_{\text{п}}$ – ширина уплотняемой полосы.

Схема работы тяжелой трамбовки, подвешенной к стреле экскаватора, изображена на рис. 2.15.

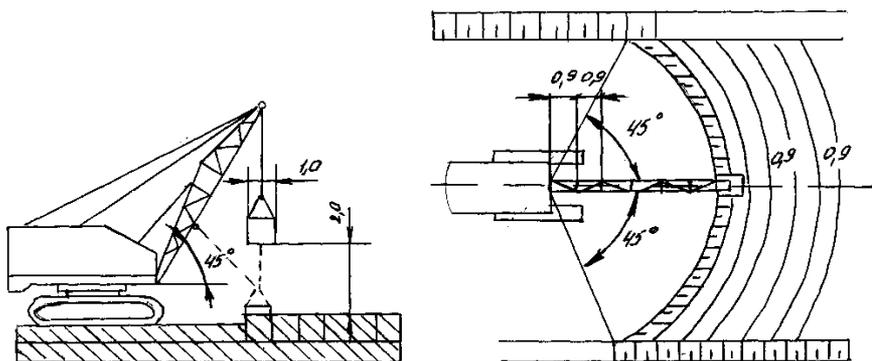


Рис. 2.15. Схема уплотнения грунта трамбовкой

2.7. Отделочные и укрепительные работы

После окончания основных работ по возведению насыпи или выемки производят планировку, а затем укрепление поверхности земляного полотна.

Отделка откосов – заключительная технологическая операция при возведении земляного полотна, включающая планировку откосов автогрейдерами или откосоотделочными машинами.

Укрепление обочин и откосов – способ обеспечения устойчивости обочин и откосов от размыва и оползания путем уплотнения, укрепления гравием, щебнем, асфальтобетонной смесью, укрепленным грунтом, засева травами, одерновки, мощения, укладки бетонных плиток и т.д.

Планировка необходима для того, чтобы выровнять верхнюю часть земляного полотна и откосы в соответствии с проектными отметками, обеспечить требуемую ровность и условия для стока воды. Планировку откосов насыпей производят после планировки поверхности земляного полотна. В выемках, наоборот, вначале планируют откосы, а потом дно. Для этого насыпи отсыпают с запасом грунта на откосах 5...10 см, а откосы выемок не добирают на 10...15 см для удобства выполнения работ.

Присыпные обочины устраивают в процессе или после постройки покрытия проезжей части, поэтому их устройство в технологическом процессе относится к отделочным работам. Сюда же относятся ликвидация всех временных съездов; устранение возникших поврежде-

ний водоотвода в резервах, у труб, нагорных канав и других местах; срезка, подчистка и отделка откосов и обочин. Технологическая схема устройства присыпных обочин изображена на рис. 2.16.

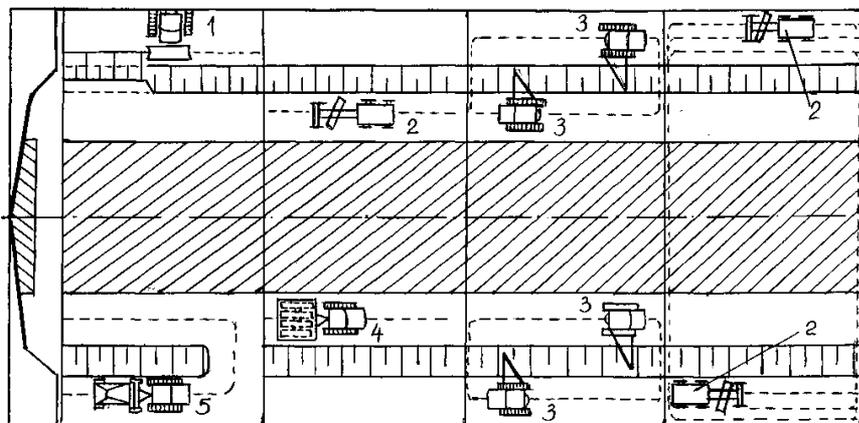


Рис. 2.16. Технологическая схема досыпки обочин и отделки земляного полотна:
1 – бульдозер; 2 – автогрейдер; 3 – планировщик откосов на тракторе;
4 – каток на пневматических шинах; 5 – скрепер

Планировку откосов и выемок выполняют автогрейдерами и тракторами с откосниками, экскаваторами-планировщиками, экскаваторами-драглайн с обычным ковшом или специальным двухотвальным планировщиком. Пологие откосы насыпей с заложением 1:3 и более планируют автогрейдером при непосредственном движении по ним.

Для укрепления откосов насыпей и выемок применяются следующие методы:

- 1) биологическая защита откосов и конусов;
- 2) сооружение сборных решетчатых конструкций;
- 3) сооружение бетонных, железобетонных и асфальтобетонных конструкций;
- 4) сооружение монолитных конструкций.

Биологическая защита основана на закреплении поверхности откоса при помощи корневой системы трав, которая образует прочную дернину толщиной до 20 см, обладающую повышенным сопротивлением размывающему действию воды. Сеять травы на поверхности откоса можно с помощью специальных сеялок, перемещаю-

щихся по откосу, а также гидро- и пневмопосевом. Кроме того, на поверхности откоса можно укладывать полосы дерна, создавая тем самым сплошную и клеточную одерновку.

Решетчатая сборная конструкция представляет собой плоскую систему, состоящую из отдельных элементов (балочек), объединенных специальными узловыми соединениями при стыковке. Металлические и железобетонные анкеры, забиваемые в узлах решетки, прикрепляют всю конструкцию к поверхности слоя откоса. Ячейки заполняются различными материалами: грунтом с последующим посевом трав, гравийно-песчаными смесями, щебнем размером 40...70 мм, каменной наброской размером камня 50...100 мм, грунтом, обработанным минеральными и органическими вяжущими.

Укрепление откосов **сборными плитными конструкциями** применяется при повышенных требованиях к планировке откосов, устройству обратного фильтра и материалу конструкций. Бетонные плиты предназначены для защиты конусов путепроводов и периодически подтопляемых откосов насыпей от вредного воздействия воды при скоростях течения до 3 м/с, высоте волн до 0,7 м и слабом ледоходе. Плиты укладывают на щебеночной или гравийной подушке, толщину и состав которой устанавливают с учетом гидрометеорологических условий. В нижней части конструкции из сборных бетонных плит устраивают бетонный упор или каменную упорную призму.

Железобетонные плиты применяются при укреплении конусов путепроводов и откосов регуляционных сооружений (дамб, траверс, пойменных насыпей) со слабым гидрологическим режимом подтопления. Железобетонные плиты, омоноличенные по контуру, предназначены для защиты откосов постоянно или периодически подтопляемых насыпей и береговых откосов, подверженных действию ветровых волн высотой до 3 м. При этих же условиях могут применяться монолитные железобетонные плиты.

Асфальтобетонные плиты рекомендуются для защиты откосов подтопляемых насыпей и берегов от воздействия текущей воды и волнобоя при незначительной (менее 0,4 м) мощности льда и отсутствии в водном потоке крупнообломочного материала, способствующего истиранию битумной пленки.

Монолитные конструкции из грунтов, обработанных вяжущими; грунтов, укрепленных пневмонабрызгом материала; монолитные решетчатые; из синтетических нетканых материалов применя-

ются для укрепления откосов земляного полотна автомобильных дорог, находящихся в сложных инженерно-геологических условиях. Их область применения связана с необходимостью немедленной защиты откосов, чтобы не допустить развития эрозионных процессов, сплавин и опавин в процессе строительства или в первые годы эксплуатации земляного полотна.

3. СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ПОКРЫТИЯМИ НИЗШИХ, ПЕРЕХОДНЫХ И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ОБЛЕГЧЕННЫХ ТИПОВ

Дорожные покрытия низшего типа устраиваются преимущественно из одного слоя материалов или их смесей (грунтовые, гравийные, улучшенные, укрепленные различными местными материалами) на дорогах местного значения. СНиП 2.05.02-85 рекомендует применение низших типов дорожных покрытий на дорогах V категории, а при стадийном строительстве – и на дорогах IV категории при первой очереди строительства. Эти покрытия могут также применяться для укрепления верхней части земляного полотна на дорогах любых категорий.

Дорожные покрытия переходного типа применяются на автомобильных дорогах IV и V технических категорий, при стадийном строительстве и служат в дальнейшем основанием для усовершенствованных покрытий. Они устраиваются из щебеночных, гравийных и шлаковых материалов, булыжного и колотого камня для мощения.

3.1. Строительство дорожных одежд из гравия и других местных материалов

Грунтовые основания и покрытия могут устраиваться из грунта естественного оптимального состава; грунта, улучшенного добавками карьерного песка или глины до оптимального состава; грунта, укрепленного крупнозернистыми минеральными материалами.

Оптимальная смесь – это смесь грунтов, отличающаяся наибольшей плотностью и определенным содержанием песчаных зерен, пылеватых и глинистых частиц.

Строительство дорожной одежды начинают с подготовки земляного полотна, которая в зависимости от принятого поперечного

профиля дорожной одежды заключается в профилировании поверхности земляного полотна и его доуплотнении.

До начала устройства каждого слоя основания и покрытия следует произвести разбивочные работы по закреплению положения бровок, отметок и поперечных уклонов, а также определить характеристики гравийного материала.

Если карьерный материал не отвечает требованиям гравийных оптимальных смесей, необходимо произвести улучшение его состава путем введения зерновых добавок.

Гравийные покрытия толщиной более 18 см рекомендуется устраивать в два слоя, причем нижний слой толщиной около 60% общей толщины дорожной одежды следует укладывать из более крупного материала, а верхний – из более мелкого, так как крупные частицы легко выбиваются движением, в результате чего получаются выбоины и разрушения покрытия.

При строительстве гравийных покрытий выполняются следующие операции (рис. 3.1):

- 1) выравнивание грунтового основания автогрейдером с приданием ему необходимого уклона;
- 2) устройство песчаного слоя или другого основания, если оно предусмотрено для уменьшения толщины гравийного слоя;
- 3) вывозку и распределение гравийного материала.

При двускатном профиле гравийный материал распределяют на проезжей части в виде куч из расчета потребной толщины слоя в плотном теле и далее разравнивают автогрейдером. Материал нижнего слоя гравийной одежды нужно распределять после того, как все колеи и выбоины в основании тщательно выровнены однородным грунтом и хорошо уплотнены. Для определения толщины слоев в рыхлом теле необходимо учитывать коэффициенты уплотнения материалов, ориентировочные значения которых составляют:

для гравийных материалов изверженных пород – 1,25;

для известняковых пород – 1,30.

Слои проезжей части уплотняют катками самоходными с металлическими вальцами, вибрационными и на пневматических шинах. Последние позволяют укатывать слой большей толщины (до 25 см) с меньшим числом проходов.

Захватки	I	II	III	IV	V	VI
№ рабочих процессов	1	2,3	4,5	6	7,8	9,10
Процесс	1. Подвозка гравийной смеси для нижнего слоя	2. Разравнивание смеси 3. Профилирование нижнего слоя	4. Поливка водой 5. Уплотнение нижнего слоя	6. Подвозка гравийной смеси для верхнего слоя	7. Разравнивание смеси 8. Профилирование верхнего слоя	9. Поливка водой 10. Уплотнение верхнего слоя
Машины	1. Автомобили-самосвалы	1. Автогрейдер	1. Поливомоечная машина 2. Катки на пневмошинах	1. Автомобили-самосвалы	1. Автогрейдер	1. Поливомоечная машина 2. Катки на пневмошинах
План потока						

Рис. 3.1. Схема устройства двухслойного гравийного покрытия

Уплотнение нижнего слоя производят сначала легкими катками (5...8 т), а затем – более тяжелыми (8...10 т и более). Скорость движения катков в начале небольшая (до 2 км/ч), а при последующих уплотнениях – до 3...4 км/ч (катков на пневматических шинах – до 6 км/ч). Уплотнение начинают от краев проезжей части, постепенно переходя к середине. Каждый последующий проход катка должен перекрывать предыдущую полосу на 25...30 см. Лучше всего уплотняется гравий во влажном состоянии, поэтому в сухую погоду его следует перед уплотнением и в процессе уплотнения поливать водой из поливочных машин из расчета 6...12 л/м² для II дорожно-климатической зоны.

Ориентировочно количество проходов катка по каждому следу составляет:

- 1) вальцовыми гладкими катками массой 5...8 т:
при однослойных покрытиях – 8...10;
двухслойных: в нижнем слое – 6...10, в верхнем – 4...7;
то же массой 8...12 т:
при однослойных покрытиях – 10...12;
двухслойных: в нижнем слое – 8...15, в верхнем – 5...8;
- 2) катками на пневматических шинах массой 10...25 т:
при однослойных покрытиях – 4...6;
двухслойных: в нижнем слое – 3...6, в верхнем – 2...4;
- 3) катками вибрационными массой 2,5...3 т – число проходов ориентировочно равно числу проходов катка на пневматических шинах.

Поперечный профиль проверяют шаблоном с уровнем, ровность покрытия – 3-метровой рейкой.

Для улучшения движения на дорогах с гравийным покрытием верхний слой обрабатывают обеспыливающими материалами: органическими (жидкими битумами, эмульсиями, каменноугольными маслами, сырой нефтью, отходами целлюлозно-бумажной промышленности и др.) и минеральными, обладающими гигроскопическими свойствами (хлористый кальций, хлористый натрий и др.).

3.2. Устройство дорожных одежд из укрепленных грунтов

Укреплением грунтов называется ряд последовательных технологических операций, обеспечивающих в результате воздействия на них добавок вяжущих и других веществ высокую прочность и длительную устойчивость как в сухом, так и в водонасыщенном состоянии [12].

Технология производства работ, требования к укрепленным грунтам и вяжущим материалам, методика подбора составов смесей изложены в Инструкции по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов (СН 25-74) [13] и Пособии к СНиП 3.06.03-85 «Устройство дорожных оснований из материалов, укрепленных неорганическими вяжущими».

3.2.1. Классификация методов укрепления

В настоящее время разработано большое количество разнообразных и эффективных методов укрепления грунтов, повышающих устойчивость дорожного полотна и получивших широкое распространение. В основе приведенной классификации лежит принцип применения разных методов укрепления грунтов в зависимости от видов применяемых вяжущих материалов. Существуют следующие методы укрепления грунтов:

1. **Минеральными вяжущими материалами** – портландцементами; шлакопортландцементами; известью молотой негашеной и гашеной гидратной (пушонкой); известью молотой негашеной гидrofобной и цементами других видов. Перечисленные материалы применяют для укрепления крупнообломочных (песчано-гравийных, песчано-щебенистых) грунтов, песков разнoзернистых, супесей, суглинков и глин. Укрепленные грунты характеризуются высокой прочностью, водоустойчивостью, морозоустойчивостью.

2. **Органическими вяжущими материалами** – битумными эмульсиями, разжиженными вязкими битумами, жидкими битумами, дегтями медленно- и среднегустеющими. Эти вяжущие применяют для укрепления крупнообломочных грунтов (песчано-гравелистых, песчано-щебенистых) оптимального гранулометрического состава; разнoзернистых и пылеватых песков, супесей, суглинков легких или улучшенных гранулометрическими добавками. Грунты, укрепленные этими материалами, обладают упроговязкопластичными свойствами; достаточной водо- и морозоустойчивостью.

3. **Комплексными добавками**: помимо основного вяжущего в грунт вводится добавка, снижающая его отрицательные и усиливающая положительные качества, способствующие образованию наиболее прочных и нерастворимых в воде соединений. Метод по-

зволяет расширить диапазон грунтов, пригодных для эффективного укрепления, обеспечить оптимальные условия для активного протекания процессов твердения и структурообразования, улучшить адгезию между грунтом и вяжущими, обеспечить производство работ в неблагоприятные периоды года, повысить деформативность и уменьшить истираемость укрепленных грунтов [14].

В качестве рекомендуемых комплексных рецептур применяют:

1) портландцемент с добавкой извести и дополнительным внесением или без внесения NaOH;

2) портландцемент с добавкой CaSO_4 , CaCl_2 , Na_2SO_4 , Na_2SiO_3 ;

3) портландцемент с добавкой извести и ($\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$);

4) портландцемент с добавкой полиакриламида, кремнийорганических соединений, жидких битумов и битумных эмульсий, золы-уноса;

5) известь гашеная плюс добавки NaOH, Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , Na_2SiO_3 ;

б) битумные эмульсии, разжиженные или жидкие битумы плюс добавки цемента, извести или поверхностно-активных веществ;

7) битумные эмульсии с добавкой карбамидной смолы.

Комплексные добавки наиболее эффективны при укреплении супесей, суглинков и глин: повышают механическую прочность, водо- и морозоустойчивость по сравнению с обычными цементогрунтами.

4. **Синтетическими полимерами:** в качестве вяжущего применяют следующие высокомолекулярные (полимерные) смолы: мочевино-фурфуролформальдегидные; мочевино-меламиноформальдегидные; фурфуроланилиновые, акриловые и другие. К этой же группе вяжущих относят сульфолигниновые, лигнинпротеиновые вещества с добавкой хромовых соединений в качестве окислителей. Эти методы применяют для укрепления пылеватых песков, супесей, легких и тяжелых суглинков. Достигается высокая прочность в сочетании с упруго-хрупкими свойствами, повышенная водоустойчивость и морозоустойчивость при небольших добавках этих веществ (2...6% по весу грунта).

5. **Фосфатами** – технической фосфорной кислотой, двойным и обычным суперфосфатом. Применение метода наиболее эффективно на глинистых и суглинистых некарбонатных или слабокарбонатных грунтах: достигается удовлетворительная прочность и водоустойчивость.

При укреплении грунтов происходят разнообразные процессы, зависящие от свойств грунта, применяемых вяжущих веществ и других реагентов:

1) химические – образование нерастворимых в воде соединений и гелей, гидролиз и гидратация минеральных вяжущих веществ, полимеризация, поликонденсация, сополимеризация синтетических веществ;

2) физико-химические – ионный обмен, необратимая коагуляция, микроагрегирование;

3) физические и механические – размельчение, перемешивание и уплотнение грунта.

Все грунты по степени пригодности для укрепления вяжущими материалами подразделяются на 3 группы: *пригодные*, *условно непригодные* и *непригодные*. Практически все грунты могут быть укреплены тем или иным вяжущим материалом с соответствующей добавкой. Поэтому рассмотрим только две последние категории.

Условно непригодные грунты включают крупнообломочные несвязные каменные породы, не пригодные для укрепления лишь по причине малого содержания песчано-глинистых фракций, что вызывает перерасход вяжущих веществ и появление в большом количестве крупных обломков, которые могут вызвать поломку рабочих органов грунтосмесительных машин.

Непригодные грунты представлены жирными высокопластичными глинами, обладающими большой связностью в сухом состоянии, и поэтому не пригодными для обработки любыми вяжущими материалами и комплексными добавками других веществ, поскольку требуют колоссальных затрат механической энергии на обработку чрезмерного расхода всех видов материалов, что экономически невыгодно.

3.2.2. Основные технологические требования и средства механизации работ по укреплению грунтов

Применяемые технологии укрепления грунтов предусматривают следующие работы:

1) предварительное разрыхление и размельчение грунтовых агрегатов;

2) при необходимости введение зерновых добавок;

3) точное дозирование и равномерное распределение в массе обрабатываемого грунта воды, вяжущих веществ, добавок;

- 4) распределение готовой смеси согласно проектному профилю слоя;
- 5) максимальное уплотнение при оптимальной влажности;
- 6) уход за укрепленным грунтом.

Глинистые грунты предварительно размельчают до такой степени, чтобы количество агрегатов крупнее 5 мм не превышало 25% общего объема грунта; содержание комков более 10 мм не должно превышать 10%.

Укрепление грунтов выполняется с использованием в качестве ведущей машины дорожной фрезы, однопроходной грунтосмесительной машины, стационарной или полустационарной смесительной установки.

Преимуществами дорожных фрез являются их относительно невысокая стоимость, мобильность; вместе с тем, эти машины требуют многократных проходов по одному следу с разрывом во времени при выполнении отдельных технологических операций, что неизбежно вызывает простой других машин.

Производительность фрезы на различных операциях (рыхление, измельчение, перемешивание) составляет

$$П = \frac{3600 \cdot v \cdot B \cdot h \cdot T \cdot k_B}{m \cdot (T + t)}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.1)$$

где v – скорость движения, м/с;

B – ширина полосы, обрабатываемая за один проход, м;

h – толщина укрепленного грунта, м;

m – потребное число проходов по одному следу;

k_B – коэффициент использования рабочего времени, $k_B = 0,65 \dots 0,75$;

T – продолжительность рабочего хода фрезы, с;

t – время поворота, с.

Главным параметром дорожных фрез, определяющим их производственные возможности, является мощность. Для выпускаемых дорожных фрез характерны следующие отношения установленной мощности двигателя к поперечному сечению обрабатываемой полосы:

$$N_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{дв}}}{h \cdot b} = 88 \dots 332 \text{ кВт/м}^2, \quad (3.2)$$

где $N_{\text{дв}}$ – мощность двигателя, кВт (колеблется от 35 до 260 кВт);

h – глубина обработки, м (иногда достигает 0,76 м);

b – ширина обработки, м (не превышает 2,3 м).

Наиболее известными зарубежными моделями дорожных фрез являются: "Seaman TO-730" (США) производительностью 100 пог. м 8-метрового дорожного основания в час; "Klaus Gerd Hoes" (Англия) – ширина обработки – 1,2 м, глубина – 0,25 м; "Ringhoffer" (Германия) – ширина обработки – 2,0 м, глубина – 0,3 м; "Sumitomo" (Япония) – ширина обработки – 2,1 м, глубина – 0,2 м.

При устройстве оснований из укрепленных грунтов на дорогах I-III категорий целесообразно использовать механизированные отряды с ведущей однопроходной многороторной грунтосмесительной машиной, способной производить размельчение и перемешивание грунта с вяжущим материалом за один проход. Эти машины отвечают следующим требованиям:

1) глубина обработки грунта (размельчение, перемешивание) регулируется и точно выдерживается при поступательном движении машины;

2) смешение с вяжущими материалами и другими реагентами происходит за один проход до полной однородности смеси;

3) соблюдается точная дозировка вяжущих, воды и других компонентов;

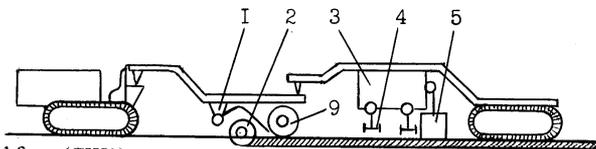
4) готовая смесь распределяется ровным слоем на заданную толщину по ширине захвата машины и частично уплотняется.

Наиболее известными моделями грунтосмесительных машин являются: "Rotary Hols" (Англия); "Harnischfeger" (США) производительностью 400 м/смену при ширине захвата 7 м и глубине обрабатываемого слоя 0,16 м; "Vogele" (Германия) с рабочей скоростью 120 м/ч при ширине обрабатываемой полосы 2 м и глубине 0,2 м; "Linnhoff" (Германия); "ДС-16 Б" (Россия) с рабочей скоростью до 640 м/ч при ширине обрабатываемой полосы 2,4 м и глубине до 0,25 м.

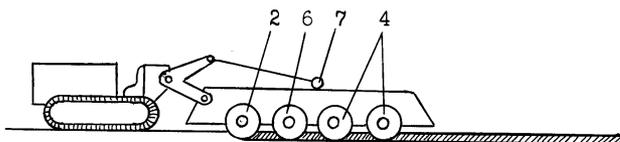
Приготовление укрепленных грунтов в грунтосмесительных карьерных установках организуется при строительстве дорог I-III категорий. Грунтосмесительная установка обеспечивает получение наиболее высококачественной грунтовой смеси благодаря более равномерному распределению вяжущего вещества среди минеральных зерен. В зависимости от годового объема и заданного темпа строительного потока в грунтовой карьере могут работать грунто-

смесительные установки производительностью от 12 до 400 т/ч. Для сокращения объема транспортных работ и сохранения качества смеси при транспортировании притрассовые грунтовые карьеры выбирают с таким расчетом, чтобы максимальная дальность возки готовой грунтовой смеси не превышала 10 км.

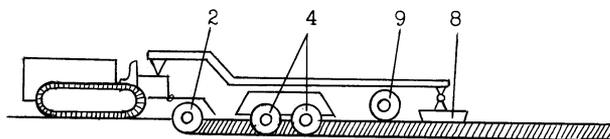
Rotary Hols (Великобритания)



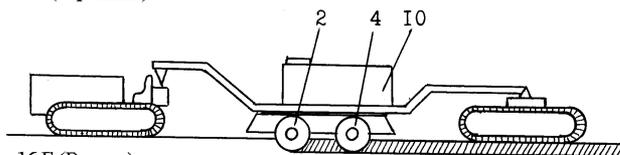
Harnischfeger (США)



Vogelc (Германия)



Linnhoff (Германия)



ДС-16Б (Россия)

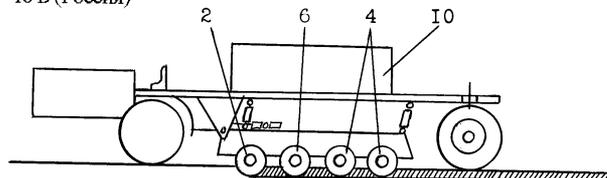


Рис. 3.2. Схемы дорожных однопроходных грунтосмесительных машин:
 1 – дозатор-распределитель цемента; 2 – фрезерный ротор; 3 – двигатель второго прицепного агрегата; 4 – двухвалный смеситель; 5 – секционная трамбовка;
 6 – вспомогательный ротор для перебрасывания грунта в смеситель; 7 – распределительная труба для жидких вяжущих и воды; 8 – виброуплотнительный брус;
 9 – каток на пневматических шинах; 10 – расходные емкости для жидких вяжущих и воды

3.2.3. Строительство оснований и покрытий из грунтов, укрепленных минеральными вяжущими

При строительстве оснований из укрепленных грунтов на дорогах I-II категорий применяются отряды машин, где ведущей машиной является смесительная карьерная установка или однопроходная грунто-смесительная машина. На дорогах III и IV категорий применяются отряды машин, где ведущей машиной является дорожная фреза.

Обработка крупнообломочных и песчаных грунтов с помощью дорожной фрезы осуществляется в следующей технологической последовательности (рис. 3.3):

1) вывозка грунта, распределение его по подготовленному земляному полотну, профилирование и уплотнение грунта до 0,85...0,9 максимальной плотности;

2) распределение цемента на всю ширину проезжей части с помощью распределителя;

3) перемешивание грунта с вяжущим за 1...2 прохода фрезы по одному следу с поступательной скоростью 0,3...0,4 км/ч;

4) увлажнение смеси до оптимальной влажности через дозирующее устройство фрезы с одновременным перемешиванием;

5) перемешивание увлажненной смеси до однородного состояния за 1...2 прохода фрезы по одному следу с поступательной скоростью 0,4...0,5 км/ч;

6) планирование готовой смеси и уплотнение до установленной плотности;

7) уход за свежеложенным цементобетоном путем нанесения пленкообразующего материала.

Длина сменной захватки назначается в пределах 150...200 м при ширине обрабатываемого основания 8 м.

Для нормального протекания процессов уплотнения и твердения цементогрунта обрабатываемый грунт должен иметь оптимальную влажность, равную в среднем 0,6 от границы текучести. Необходимую влажность ориентировочно принимают: для песка – 7...10%, для супеси – 8...14%, для легких суглинков – 12...18%, для тяжелых суглинков – 16...22%, глины – 18...25%.

№ захватки	I	II	III	IV	V	VI	VII
№ рабоч. процесса	1, 2, 3	4	5	6, 7	8	9, 10	11
Процессы	1. Вывозка грунта 2. Профилирование 3. Уплотнение	4. Распределение цемента на всю ширину проезжей части	5. Перемешивание за 1...2 прохода со скоростью 0,3...0,4 км/ч	6, 7. Увлажнение смеси с одновременным перемешиванием	8. Перемешивание смеси за 1...2 прохода со скоростью 0,4...0,5 км/ч	9. Профилирование готовой смеси 10. Уплотнение	11. Нанесение пленкообразующего материала
Машины	1. Автомобиль-самосвал 2. Автогрейдер 3. Каток	4. Распределитель цемента 5. Цементовоз	6. Дорожная фреза на тракторе	7. Поливомоечная машина 6. Дорожная фреза	6. Дорожная фреза	2. Автогрейдер 3. Каток	8. Автогудронатор
План потока							

Рис. 3.3. Схема устройства основания из грунтов, укрепленных цементом, с использованием в качестве ведущей машины дорожной фрезы

При укреплении грунта цементом вода вначале играет роль смазки, облегчая процесс уплотнения, а затем в течение длительного времени необходима для обеспечения процессов гидролиза и гидратации цемента и последующего твердения цементогрунта.

Если влажность превышает оптимальную более чем на 2%, необходимо продолжить перемешивание и размельчение грунта для его подсушивания. С этой же целью в него можно добавить известь в количестве 2...3%.

Слои из цементогрунтовой смеси составляют не менее 10 и не более 22 см в плотном теле.

При комплексном укреплении грунтов с использованием добавок растворов солей, нефти, жидкого битума количество воды для обеспечения оптимальной влажности уменьшают на количество добавляемых в грунт растворов или нефти. Последовательность введения компонентов в грунт следующая: вначале – нефть, затем – цемент и в конце – вода.

При использовании в качестве добавки золы-уноса или золошлаковых смесей в количестве 15...25% массы смеси эти добавки следует распределять по слою обрабатываемого грунта с помощью распределителя цемента за два прохода фрезы по одному следу перед внесением основного вяжущего – цемента.

Перемешивание грунта с добавками с помощью фрезы производят с поступательной скоростью 0,3...0,4 км/ч.

Обработку песчаных и крупнообломочных грунтов однопроходной грунтосмесительной машиной производят с рабочей скоростью 0,4...0,7 км/ч. Длину сменной захватки при ширине обрабатываемой полосы основания 8 м назначают в пределах 250...300 м в зависимости от свойств грунтов. Все рабочие операции производят за один проход машины. Цемент подается в дозаторы в аэрированном состоянии из цементовоза, толкаемого грунтосмесительной машиной. Одновременно производится увлажнение смеси (водой или солевым раствором), а затем планирование и частичное уплотнение. Перекрытие смежных по ширине захватки полос прохода грунтосмесительной машины составляет не менее 20 см.

Если проектом предусмотрены добавки золы-уноса или золошлаковой смеси в количестве более 15% массы смеси, следует предварительно распределить их по грунту с помощью распределителя цемента за два прохода по одному следу, спрофилировать и уплот-

нить до 0,85...0,9 от максимальной плотности. Только после этого начинает работать однопроходная грунтосмесительная машина.

При устройстве основания из укрепленных грунтов в два слоя верхний слой следует устраивать только после осуществления ухода за готовым нижним слоем в течение 10 суток.

Обработка супесей и легких суглинков однопроходной грунтосмесительной машиной производится с рабочей скоростью 0,23 км/ч, тяжелых суглинков и глин – 0,1 км/ч. Длину сменной захватки назначают в пределах 150...200 м при ширине 8 м.

При устройстве однослойного дорожного основания из суглинистого грунта, укрепленного цементом с добавками извести и раствора хлористого кальция, с помощью однопроходной грунтосмесительной машины (рис. 3.4) последовательность технологических операций следующая:

1) вывозка грунта на подготовленное земляное полотно, его распределение по всей ширине основания с помощью автогрейдера и уплотнение до 0,85...0,9 от максимальной плотности;

2) подвозка извести цементовозами и ее введение в грунт распределителем цемента; подвозка цемента цементовозами;

3) перемешивание извести с грунтом и одновременное размельчение грунта за 4 прохода фрезы по ширине основания и за 2 прохода по одному следу на второй и четвертой скоростях;

4) профилирование смеси автогрейдером за 5...6 круговых проходов по ширине основания;

5) укрепление грунта грунтосмесительной машиной, включающее размельчение грунта, дозирование цемента, введение хлористого кальция в виде раствора при увлажнении смеси, перемешивание компонентов, за 4 прохода по ширине основания на второй скорости;

6) подвозка воды и раствора хлористого кальция для увлажнения грунта до оптимальной влажности с одновременным введением в грунт раствора поливомоечными машинами;

7) разравнивание и профилирование смеси автогрейдером за 8 круговых проходов по ширине основания при скорости движения 3 км/ч;

8) уплотнение слоя укрепленного участка грунта катком за 18 проходов по одному следу или за 72 прохода по ширине основания при выполнении первых двух проходов на первой скорости, средних – на второй и последних трех – на третьей;

9) доставка и разлив битумной эмульсии автогудронатором в количестве 0,9...1 л/м².

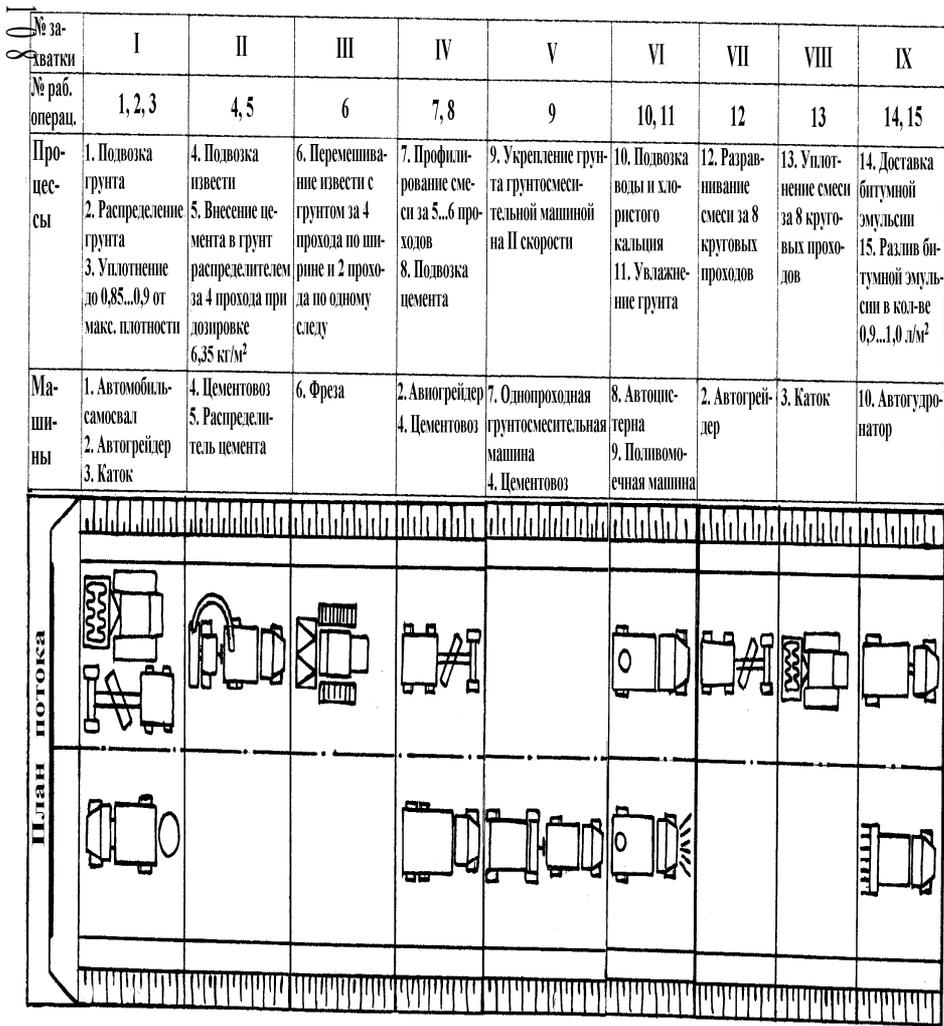


Рис. 3.4. Схема строительства однослойного дорожного покрытия из суглинистого грунта, укрепленного цементом с добавками
известки и раствора хлористого кальция с помощью однопроходной грунтосмесительной машины (СН 25-74)

Для приготовления смесей в смесительной установке применяют устанавливаемые в карьерах передвижные смесительные установки с принудительным перемешиванием. Крупнообломочные грунты, содержащие фракции размером более 40 мм, до начала обработки просеивают через грохоты с размером отверстий 40 мм.

При укреплении грунта цементом (при его дозировке не более 5% от массы смеси) с добавками золы-уноса или золошлаковой смеси добавки вводят через дозатор цемента смесительной установки, а необходимое количество цемента – через дозатор сыпучих добавок, если их количество составляет не более 15% массы смеси.

Укладку смеси в основание производят с помощью самоходного универсального укладчика с соблюдением заданной толщины слоя. Уплотнение смеси производят самоходными катками на пневматических шинах или вибрационными катками. Ориентировочное количество проходов катка по одному следу равно 12...18.

Для устройства однослойного дорожного покрытия из супесчаного грунта, укрепленного цементом с добавкой золы-уноса в смесительной установке, соблюдается следующая последовательность технологических операций:

1) разработка супесчаного грунта в карьере с перемещением его бульдозером к приемному бункеру транспорта;

2) подвозка воды поливочными машинами;

3) подвозка цемента и золы-уноса автоцементовозами;

4) подача грунта по транспортеру в мешалку смесительной установки, дозирование цемента и золы, перемешивание компонентов смеси с одновременным увлажнением до оптимальной влажности, выгрузка смеси в накопительный бункер;

5) подвозка автосамосвалами готовой смеси от смесительной установки к месту укладки;

6) профилирование земляного полотна автогрейдером перед укладкой доставленной смеси за 6 круговых проходов при скорости движения 3 км/ч;

7) укладка смеси в основание с помощью универсального укладчика и предварительное уплотнение вибробрусом укладчика;

8) окончательное уплотнение смеси самоходным пневмокатком за 8 проходов по одному следу при выполнении первых двух проходов на 1-й скорости, трех – на второй, остальных – на третьей;

9) доставка и разлив битумной эмульсии автогудронатором в количестве 1,2 л/м².

Ориентировочный расход минеральных вяжущих приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Ориентировочный расход минеральных вяжущих

Грунты	Портландцемент, %		Известь, %	
	верхний слой основания или покрытия	нижний слой основания	верхний слой основания или покрытия	нижний слой основания
Крупнообломочные нецементированные грунты, пески гравелистые, крупные и средние	4...8	3...6	3...6	3...4
Пылеватые пески	6...12	4...8	–	–
Супеси легкие крупные, легкие и тяжелые пылеватые	8...12	4...7	6...8	4...6
Супеси с числом пластичности менее 3 при добавке золы-уноса в количестве 15...25% массы смеси	4...7	3...4	2...4	2...3
Суглинки тяжелые и тяжелые пылеватые	11...14	8...12	7...8	5...6
Глины песчаные и пылеватые	13...15	10...12	8...10	6...8

Класс прочности грунтов, укрепленных минеральными вяжущими без добавок или в сочетании с добавками, устанавливают в соответствии с результатами, приведенными в табл. 3.2.

Прочностные результаты грунтов, укрепленных
минеральными вяжущими

Физико-механические свойства	Показатели по классам прочности		
	I	II	III
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, МПа	6...4	4...2	2...1
Предел прочности на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов, МПа, не менее	1,0	0,6	0,2
Коэффициент морозостойкости, не менее	0,75	0,7	0,65

**3.2.4. Строительство основания из грунтов,
укрепленных органическими вяжущими**

Органические вяжущие должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) обладать хорошим сцеплением (адгезией) с минеральными материалами, не изменяющимися под влиянием температуры и с течением времени;
- 2) хорошо перемешиваться с грунтами и поддаваться обработке при укладке и укатке покрытия.

В практике дорожного строительства для обеспечения этих требований применяют 2 способа:

- 1) нагревание вязких материалов до определенной температуры (при нагревании их вязкость понижается, а затем после остывания в готовом покрытии вновь возрастает);
- 2) применение жидких органических вяжущих веществ, у которых с течением времени легкие фракции улетучиваются и вязкость постепенно повышается.

При обработке крупнообломочных и песчаных грунтов дорожной фрезой органическое вяжущее вводят в смесь грунта с добавками через распределительное устройство фрезы за первый ее проход. Если влажность грунта при этом меньше оптимальных значений, его доувлажняют с помощью поливочной машины.

Перемешивание смеси с жидким битумом или каменноугольным дегтем производят за 2...4 прохода по одному следу, а с битумной эмульсией – двумя фрезами одновременно за один проход каждой фрезы по одному следу.

Суглинистые грунты требуют повышенного расхода вяжущего и обрабатываются труднее, чем песчаные и супесчаные. Поэтому при укреплении суглинков в II дорожно-климатической зоне вводят добавку активных и поверхностно-активных веществ.

Необходимая влажность при смешении грунтов с органическими вяжущими материалами колеблется в пределах 0,3...0,5 от границы текучести грунта и ориентировочно составляет (от массы грунта): для супесей и легких суглинков – 6...10%, для тяжелых и тяжелых пылеватых суглинков – 9...17%, для глин – 17...22%. Если влажность меньше оптимальной, в обрабатываемый грунт добавляют воду, если влажность избыточная, грунт подсушивают.

Смешивать грунт фрезами с жидким битумом необходимо в сухую погоду при температуре воздуха не ниже 15°C. Грунт с битумной эмульсией можно смешивать как в сухую, так и во влажную погоду при температуре воздуха не ниже 5°C.

Обработка грунтов, укрепленных битумной эмульсией с цементом или жидким битумом с цементом, осуществляется в следующей технологической последовательности (рис. 3.5):

1) внесение в грунт органического вяжущего через дозировочное устройство фрезы за один проход;

2) перемешивание грунта с вяжущим за 1...2 прохода фрезы по одному следу;

3) внесение в смесь грунта с органическим вяжущим цемента с помощью распределителя цемента за один проход;

4) перемешивание смеси за 1...4 прохода фрезы по одному следу;

5) увлажнение смеси до оптимальной влажности и перемешивание за один проход фрезы по одному следу;

6) профилирование смеси автогрейдером и уплотнение катками.

Уплотнение смеси производится не позднее чем через 2 ч после окончания перемешивания смеси катками на пневматических шинах или виброкатками с перекрытием полос проходов катка не менее чем на 20 см. При температуре воздуха ниже +15°C разрыв между окончанием перемешивания смеси и началом уплотнения допускается до 4 ч.

№ захватки	I	II	III	IV	V	VI	VII
№ раб. операций	1, 2, 3	4	5	6	7	8, 9	10, 11
Процессы	1. Подвозка грунта 2. Профилирование грунта 3. Уплотнение	4. Внесение органического вяжущего и перемешивание за один проход	5. Перемешивание органического вяжущего с грунтом за 1...2 прохода	6. Внесение цемента за 1 проход	7. Перемешивание за 1...4 прохода по одному следу	8. Увлажнение грунта до оптимальной влажности 9. Перемешивание за 1 проход по одному следу	10. Профилирование 11. Уплотнение за 5...10 проходов
Машины	1. Автомобиль-самосвал 2. Скрепер 3. Автогрейдер 4. Каток	5. Фреза 6. Битумовоз	5. Фреза	7. Распределитель цемента	5. Фреза	8. Поливомоечная машина 5. Фреза	3. Автогрейдер 4. Каток
План потока							

Рис. 3.5. Схема устройства основания из грунтов, укрепленных жидким битумом с цементом с использованием в качестве ведущей машины дорожной фрезы (СН 25-74)

Однопроходная грунтосмесительная машина при укреплении грунта органическими вяжущими с добавками активных веществ в количестве, не превышающем 15% массы грунта, подает все компоненты через дозаторы в грунт и перемешивает до однородного состояния. Если естественная влажность меньше оптимальной, перед проходом грунтосмесительной машины грунт доувлажняют поливочной машиной. Все сыпучие добавки подаются в дозаторы в аэрированном виде.

При использовании в качестве добавки молотой негашеной или гидрофобной извести ее распределяют по грунту с помощью распределителя цемента, а затем перемешивают дорожной фрезой за один проход и профилируют автогрейдером. Последующую обработку грунта органическим вяжущим однопроходной грунтосмесительной машиной производят по истечении не менее 12 и не более 24 ч после внесения добавки извести. Технологическая схема идентична схеме, изображенной на рис. 3.3.

При приготовлении смеси грунтов с жидким битумом, битумной эмульсией и активными добавками в количестве не более 20% массы грунта с помощью смесительной установки вяжущие вещества, добавки (кроме молотой негашеной извести) и вода вводятся в грунт одновременно и перемешиваются до однородного состояния. Увлажнение смеси производится до оптимальной влажности.

При обработке битумной эмульсией грунтов с влажностью, соответствующей влажности при смешении или большей (СП 25-74 предусматривает влажность грунта при смешении и влажность при уплотнении, причем первая ниже, чем вторая), применяют битумную эмульсию с содержанием битума 50...55%, а грунтов с меньшей влажностью – с содержанием битума 35...45%.

Укладку готовой смеси в основание или покрытие следует производить асфальтоукладчиками с учетом осадки на уплотнение. Ориентировочный расход органических вяжущих приведен в табл. 3.3.

Уплотнение смеси производят так же, как при технологическом цикле использования в качестве ведущей машины дорожной фрезы.

Уплотнение грунтов, обработанных битумной эмульсией с добавкой извести, а также битумной эмульсией или жидким битумом совместно с цементом, должно быть закончено не позднее одних суток после укладки смеси. При температуре воздуха ниже +15°C допускается повторное уплотнение не позднее двух суток после

первоначального уплотнения для грунтов, обработанных битумной эмульсией с цементом, и не позднее четырех суток для грунтов, обработанных битумной эмульсией с добавкой извести.

Таблица 3.3

Ориентировочный расход органических вяжущих

Грунты	Жидкий нефтяной битум, %	Битумная эмульсия, %
Крупнообломочные не-цементированные грунты, пески гравелистые, крупные и средние	3...5	3...5
Супеси пылеватые с числом пластичности менее 3	4...6	4...6
Супеси тяжелые пылеватые, суглинки легкие и легкие пылеватые	5...8	5...7
Суглинки тяжелые и тяжелые пылеватые, глины с числом пластичности не более 22	8...10	6...7

За уплотненным слоем грунта, укрепленного битумной эмульсией или жидким битумом с цементом при температуре 12°C и отсутствии осадков, необходимо осуществлять уход путем розлива битумной эмульсии из расчета 0,8...1 л/м².

Прочностные характеристики грунтов, укрепленных битумными эмульсиями или жидкими битумами с цементом, а также битумными эмульсиями совместно с карбамидными смолами, приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Прочностные характеристики грунтов, укрепленных битумными эмульсиями или жидкими битумами совместно с цементом

Физико-механические свойства	Показатели по классам прочности	
	I	II
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов при 20°C, МПа	4,0...2,5	2,5...1,5
Предел прочности при сжатии при 50°C, МПа, не менее	2,0	1,2
Предел прочности на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов при 20°C, МПа, не менее	1,0	0,6
Коэффициент морозостойкости, не менее	0,85	0,8
Водонасыщение, % объема, не менее	3	5

3.3. Устройство щебеночных покрытий и оснований способом пропитки

В зависимости от толщины слоя покрытия или основания различают пропитку (толщина 8...10 см) и полупропитку (толщина 4...7 см). Для пропитки пригоден щебень, разделенный на фракции: 40...70; 20 (25)...40; 10 (15)...20 (25); 5 (3)...10 (15) мм; для полупропитки фракцию 40...70 не применяют.

Работу следует вести преимущественно в теплое время года, когда нет дождя. Температура воздуха весной и летом должна быть не менее 15°C. Процесс включает подготовительные работы, непосредственно строительство и уход за готовым покрытием или основанием в период их формирования.

К подготовительным работам относятся приемка основания, высотная и плановая разбивка, установка боковых упоров. В случае слабого сцепления нижележащего слоя с новым по поверхности нижнего слоя разливают вяжущее вещество в количестве $0,8...1$ л/м².

Технологическая последовательность работ по устройству покрытий и оснований из щебня, обработанного способом пропитки толщиной $6...8$ см, следующая (рис. 3.6):

1) первая россыпь щебня фракций $40...70$ мм из расчета $5...6$ м³ на 100 м²;

2) уплотнение катками за $5...6$ проходов по одному следу;

3) розлив вяжущих из расчета $3...4$ л/м²;

4) вторая россыпь щебня фракций 20 (25)... 40 мм из расчета $3...4$ м³ на 100 м²;

5) уплотнение катками за $3...4$ прохода по одному следу;

6) розлив вяжущего из расхода $2,5...3,0$ л/м²;

7) третья россыпь щебня фракций $10...20$ ($15...25$) мм из расчета $1,0...1,1$ м³ на 100 м²;

8) уплотнение катками за $3...4$ прохода по одному следу;

9) розлив вяжущего из расчета $2,0...2,5$ л/м²;

10) четвертая россыпь щебня фракций 3 (5)... 10 ($5...15$) мм из расчета $0,9...1,1$ м³ на 100 м²;

11) уплотнение катками за $3...4$ прохода по одному следу.

Представленная технология применяется при обработке четырех фракций щебня. При обработке трех фракций для второй россыпи применяется щебень $10...20$ ($15...25$) мм в объеме $1,0...1,1$ м³ на 100 м². Второе уплотнение производится за $5...7$ проходов катка по одному следу. Третья россыпь щебня фракций 3 (5)... 10 ($5...15$) мм осуществляется в объеме $0,9...1,1$ м³ на 100 м².

После окончания работ в течение $20...25$ дней нужно: регулировать движение по всей ширине покрытия; уплотнять его катками для создания ровной поверхности; наметать мелкий щебень, разбрасываемый проходящими автомобилями; присыпать мелким щебнем участки, где обнаружился избыток вяжущего.

№ захватки	I	I	I	II	II	II	III	III	III	IV	IV
№ рабоч. операций	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Процессы	1. Первая россыпь щебня 40...70, 5...6 м ³ /100 м ²	2. Уплотнение за 5...6 проходов по одному следу	3. Розлив вяжущего 3...4 л/м ²	4. Вторая россыпь щебня 20...40, 3...4 м ³ /100 м ²	5. Уплотнение за 3...4 прохода по одному следу	6. Розлив вяжущего 2,5...3,0 л/м ²	7. Третья россыпь щебня 10...20, 1,0...1,1 м ³ /100 м ²	8. Уплотнение за 3...4 прохода по одному следу	9. Розлив вяжущего 2,0...2,5 л/м ²	10. Четвертая россыпь щебня 3...10, 0,9...1,1 м ³ /100 м ²	11. Уплотнение за 3...4 прохода по одному следу
Машины	1. Распределитель щебня	2. Пневмокоток	3. Автогудронатор	1. Распределитель щебня	2. Пневмокоток	3. Автогудронатор	1. Распределитель щебня	2. Пневмокоток	3. Автогудронатор	1. Распределитель щебня	2. Пневмокоток

Рис. 3.6. Схема устройства основания из щебня, обработанного способом пропитки четырьмя фракциями толщиной 6...8 см

3.4. Устройство поверхностной обработки

3.4.1. Поверхностная обработка

Поверхностная обработка – это технологический процесс создания слоев износа, замыкающего слоя покрытия усовершенствованного и переходного типов или шероховатой поверхности асфальтобетонного покрытия путем розлива по поверхности слоя органических вяжущих материалов и россыпи по нему прочных каменных материалов.

Отличие поверхностной обработки от устройства покрытия или основания способом пропитки в том, что при поверхностной обработке вначале распределяется вяжущее вещество, в которое утапливается каменный материал, а при способе пропитки, наоборот, вначале распределяется каменный материал, на который затем разливается органическое вяжущее.

В зависимости от вида покрытия, характера и интенсивности движения эти операции повторяются 1...3 раза, в связи с чем поверхностную обработку называют одиночной, двойной или тройной.

Поверхностная обработка, защищая дорожную одежду от непосредственного воздействия автомобильного транспорта, существенно улучшает ее эксплуатационные качества.

Порядок работ включает следующие операции: подготовку поверхности, розлив вяжущего в горячем состоянии, немедленное распределение и разравнивание минерального материала, уплотнение.

Подготовка обрабатываемой поверхности заключается в ее очистке, выборочном мелком ремонте и предварительном розливе вяжущего материала в виде жидкого битума в количестве 0,5...0,8 л/м². Только после впитывания битума осуществляется розлив основного вяжущего. Помимо органических вяжущих повышенной вязкости для поверхностной обработки можно применять быстрораспадающиеся эмульсии, что позволяет использовать увлажненные минеральные материалы.

Битум разливают при температуре 80...160°C (в зависимости от марки), температура воздуха при этом должна быть не ниже 15°C.

При устройстве поверхностной обработки очень важно получить поверхность без затопленных или наложенных одна на другую частиц. Щебень для поверхностной обработки необходимо применять кубической формы и узкого гранулометрического состава, а еще лучше – одномерный.

Технология устройства тройной поверхностной обработки включает следующие операции (рис. 3.7):

№ захватки	I	I	II	II	II	III	III	III	IV	IV	IV	V
№ рабоч. операций	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Процессы	1. Очистка обрабатываемой поверхности	2. Предварительный розлив вяжущего	3. Первый розлив вяжущего	4. Первая россыпь щебня	5. Уплотнение за 2...3 прохода по одному следу	6. Второй розлив вяжущего	7. Вторая россыпь щебня	8. Уплотнение за 2...3 прохода по одному следу	9. Третий розлив вяжущего	10. Третья россыпь щебня	11. Уплотнение	12. Поправка мелких дефектов вручную
Машины	1. Механические щетки	2. Автогудронатор	2. Автогудронатор	3. Распределитель щебня	4. Пневмокаток	2. Автогудронатор	3. Распределитель щебня	4. Пневмокаток	2. Автогудронатор	3. Распределитель щебня	4. Пневмокаток	5. Ручной гудронатор
План потока												

Рис. 3.7. Схема устройства тройной поверхностной обработки

- 1) очистка механическими щетками обрабатываемой поверхности;
- 2) предварительный розлив жидкого битума автогудронатором в количестве 0,5...0,8 л/м²;
- 3) первый розлив вяжущего материала с помощью автогудронатора;
- 4) первая россыпь щебня с помощью самоходных или навесных распределителей щебня;
- 5) уплотнение пневмокатками или катками с металлическими вальцами за 2...3 прохода по одному следу;
- 6) второй розлив вяжущего;
- 7) вторая россыпь щебня;
- 8) уплотнение за 2...3 прохода по одному следу;
- 9) третий розлив вяжущего;
- 10) третья россыпь щебня;
- 11) уплотнение катками на пневматических шинах;
- 12) поправка мелких дефектов формируемой поверхности вручную с ручным гудронатором.

При поверхностной обработке движение не следует открывать ранее чем через 6...8 часов после последнего уплотнения. Работы следует заканчивать с таким расчетом, чтобы формирование покрытия в процессе эксплуатации было завершено за 10...20 дней до начала периода с пониженными температурами воздуха и дождями, в противном случае покрытие может разрушиться. По мере изнашивания поверхностную обработку периодически повторяют. Повторная обработка требует меньшего расхода вяжущего (1...1,5 л/м²) и каменной мелочи.

3.4.2. Устройство защитных слоев износа по мембранной технологии

Слой износа – верхний тонкий слой дорожного покрытия (до 3 см), обладающий высокой шероховатостью и водонепроницаемостью. Может устраиваться одновременно со строительством покрытия дорожной одежды или через определенное время (3...6 лет). Основное назначение – предохранение материала дорожного покрытия от непосредственного воздействия погодных-климатических факторов и транспортной нагрузки и продление тем самым срока его службы.

Защитные слои износа на цементобетонном покрытии устраивают по трещинопрерывающей прослойке из битумополимерного вяжущего в виде:

- 1) двойной или одиночной поверхностной обработки;
- 2) тонкого защитного слоя из мелкозернистого асфальтобетона на модифицированном битуме.

Для устройства трещинопрерывающей прослойки – мембраны используется битумополимерное вяжущее с содержанием полимера класса «стирол-бутадиен-стирол» – 5...6% по массе [16].

Для одиночной поверхностной обработки используется щебень фракций: 6...9 мм, 9...12 мм, 5...10 мм, 10...15 мм; для двойной: первая россыпь – 10...15 мм или 9...12 мм, вторая – 3...5 мм или 4...6 мм.

Технология устройства защитных слоев в виде поверхностных обработок включает следующие технологические операции.

При **одиночной поверхностной обработке**:

- 1) подготовительные работы;
- 2) подгрунтовка;
- 3) устройство трещинопрерывающей мембраны (распределение битумополимерного вяжущего);
- 4) распределение щебня;
- 5) уплотнение щебня;
- 6) уход за покрытием.

При **двойной поверхностной обработке**:

- 1) подготовительные работы;
- 2) подгрунтовка;
- 3) устройство трещинопрерывающей мембраны (первый розлив битумополимерного вяжущего);
- 4) первая россыпь щебня;
- 5) уплотнение щебня;
- 6) второй розлив битумополимерного вяжущего;
- 7) вторая россыпь щебня;
- 8) уплотнение щебня;
- 9) уход за покрытием.

Подготовительные работы включают в себя герметизацию деформационных швов, очистку покрытия от пыли и грязи, ликвидацию ям и выбоин.

Подгрунтовка осуществляется катионными битумными эмульсиями при норме расхода 0,5...0,6 л/м² или жидкими битумами при норме расхода 0,2...0,3 л/м².

Устройство трещинопрерывающей мембраны производится при температуре не ниже $+15^{\circ}\text{C}$ с помощью автогудронатора путем распределения по бетонной поверхности битумополимерного вяжущего с расходом $1,5...1,6 \text{ л/м}^2$. Температура вяжущего должна быть в пределах $175...185^{\circ}\text{C}$.

При устройстве одиночной поверхностной обработки после нанесения мембраны осуществляется россыпь холодного щебня одной из фракций: $6...9 \text{ мм}$, $9...12 \text{ мм}$, $5...10 \text{ мм}$, $10...15 \text{ мм}$, обработанного битумом в количестве $0,4...0,6\%$ от массы щебня в асфальтосмесительной установке.

Норма распределения обработанного щебня составляет:

для щебня фракции $5...10 \text{ мм}$ – $11,5...13,5 \text{ кг/м}^2$;

для щебня фракции $6...9 \text{ мм}$ – $11,0...13,5 \text{ кг/м}^2$;

для щебня фракции $9...12 \text{ мм}$ – $14,0...17,0 \text{ кг/м}^2$;

для щебня фракции $10...15 \text{ мм}$ – $13,0...18,0 \text{ кг/м}^2$.

При двойной поверхностной обработке первая россыпь щебня осуществляется фракцией $10...15 \text{ мм}$ ($9...12 \text{ мм}$) при норме $13...18 \text{ кг/м}^2$ ($14...17 \text{ кг/м}^2$).

После выполнения работ по уплотнению производится повторный розлив битумоминерального вяжущего с нормой расхода $0,8...1,0 \text{ л/м}^2$ и распределение щебня фракции $4...6 \text{ мм}$ ($3...5 \text{ мм}$) при норме расхода $9...11 \text{ кг/м}^2$ ($8...10 \text{ кг/м}^2$).

Уплотнение щебня при одиночной поверхностной обработке и для первой россыпи щебня при двойной обработке производится с помощью пневмокатка весом $5...8 \text{ т}$ за $3...5$ проходов, второй россыпи – с помощью пневмокатка весом $5...8 \text{ т}$ за $5...8$ проходов.

Через $2...3$ часа после уплотнения производится уход за покрытием путем очистки его механическими щетками от незакрепившегося щебня.

Технология устройства тонкослойного асфальтобетона включает следующие технологические операции:

- 1) подготовительные работы;
- 2) подгрунтовку;
- 3) устройство трещинопрерывающей мембраны;
- 4) распределение щебня фракции $10...15 \text{ мм}$;
- 5) уплотнение щебня;
- 6) устройство защитного тонкого слоя из мелкозернистого асфальтобетона;
- 7) уплотнение асфальтобетона.

Подготовительные работы и подгрунтовка производятся, как при поверхностной обработке.

При устройстве трещинопрерывающей мембраны расход битумополимерного вяжущего составляет $2,5 \dots 2,8 \text{ л/м}^2$.

После устройства трещинопрерывающей мембраны производится распределение технологического слоя щебня, обработанного битумом, фракции $10 \dots 15 \text{ мм}$ с расходом $8 \dots 10 \text{ кг/м}^2$, служащего для обеспечения сплошности мембраны при передвижении асфальтоукладчика.

Устройство защитного слоя осуществляется асфальтоукладчиком на всю ширину покрытия. Температура асфальтобетонной смеси на технологических этапах должна быть:

при выходе из смесителя – $175 \dots 180^\circ\text{C}$;

при укладке – $150 \dots 160^\circ\text{C}$;

при уплотнении – $120 \dots 130^\circ\text{C}$.

Уплотнение смеси осуществляется гладковальцовыми катками массой $8 \dots 10 \text{ т}$. Количество проходов должно составлять $5 \dots 8$.

Конструкции защитных слоев представлены на рис. 3.8.

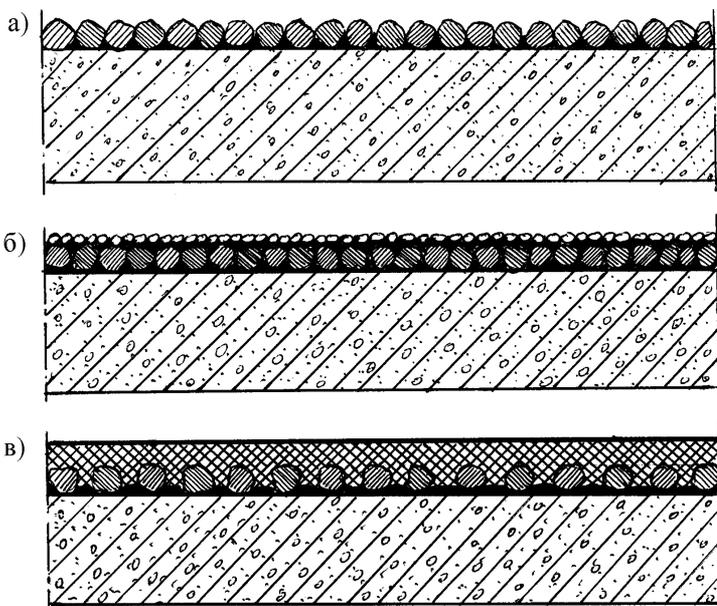


Рис. 3.8. Конструкции защитных слоев, устраиваемых по мембранной технологии:
а – одиночная поверхностная обработка; б – двойная поверхностная обработка;
в – тонкослойный асфальтобетон

3.5. Добыча и переработка каменных материалов для дорожного строительства

При сооружении земляного полотна, производстве асфальто- и цементобетонов, устройстве оснований и покрытий из каменных материалов, в том числе – обработанных органическими и минеральными вяжущими, необходимо большое количество каменного материала различной фракции.

Получение этих материалов и обеспечение ими строительных организаций в необходимых объемах осуществляется в определенной технологической последовательности от поиска и разведки месторождений до отгрузки потребителю песка, гравия, щебня.

Изыскания месторождений природных каменных материалов осуществляются в 3 стадии: рекогносцировка, поиск, разведка. **Рекогносцировкой** устанавливают район, где следует вести разведывательные работы для обеспечения материалами данного строительного объекта. **Поиском** устанавливают ориентировочные запасы, промышленную ценность и пригодность материалов для строительства дорог. При **разведке** используют контрольные шурфы и буровые скважины.

На основании инженерно-геологических полевых исследований принимается решение о разработке притрассовых или промышленных карьеров. **Карьерами** называют горные выработки, приспособленные и оборудованные для добычи природных каменных материалов открытым способом. **Грунтовый карьер** – это производственное предприятие временного типа для разработки грунта, его погрузки и доставки к месту укладки, а также для механизированного приготовления в установке смеси грунтов с вяжущими материалами. **Притрассовый карьер** – временно действующее производственное предприятие дорожной организации для добычи и обогащения каменных материалов, расположенное в непосредственной близости к строящейся автомобильной дороге. **Промышленный карьер** – постоянно действующее горное предприятие, организованное на базе крупного месторождения с большим запасом горной породы и осуществляющее добычу породы, ее дробление и обогащение.

Подготовка карьера состоит в его осушении, удалении пустых пород, покрывающих полезное ископаемое, разупрочнении пород механическим рыхлением или взрывом.

Выемочно-погрузочные работы связаны с набором породы в ковш экскаватора и погрузкой в транспортные средства – железнодорожные, автомобильные; ленточные транспортеры. Добытая масса горной породы доставляется на сортировочные пункты, снабженные дробильным оборудованием.

Добытые камень, гравий, песок в редких случаях используются без проведения дополнительных мероприятий. В большинстве случаев необходимо освободить породу от примесей, большей частью, бесполезных, а иногда и вредных, от так называемой пустой породы (мелочи, пыли, илистых, глинистых частиц и т.п.). Большая часть добываемых природных каменных материалов должна быть обогащена. Цель обогащения – увеличить содержание ценной части горной породы и уменьшить содержание посторонних примесей. Обогащение по прочности производят за счет снижения содержания слабых разновидностей горных пород в готовом продукте или за счет разделения продукта на классы по прочности.

Между природным грунтом и дорожно-строительным материалом, получаемым после переработки грунта на камнедробильных заводах, имеются существенные различия не только в количественном, но и в качественном состоянии. Например, песок как грунт характеризуется размером зерен от 2 до 0,05 мм, а как дорожно-строительный материал – размером зерен до 5 мм. Изменение границы между песчаными и гравийными частицами связано с тем, что при просеивании частиц через грохоты с отверстиями 5 мм получение песчаных фракций происходит значительно быстрее и производительнее, чем через грохоты с отверстиями 2 мм. При этом присоединение частиц размером 2...5 мм к песчаным фракциям существенно улучшает физические и механические свойства песка. С другой стороны, удаление частиц размером 2...5 мм из массы гравия улучшает физические и механические свойства этих материалов.

Переработку горной массы в притрассовых карьерах производят на предварительных дробильно-сортировочных установках (ПДСУ). Обычно это – комплект машин, объединенных в один или несколько агрегатов, приспособленных для быстрого перебазирования с одного места эксплуатации на другое. По производительности ПДСУ делятся на установки: малой производительности – до 10 т/ч; средней – до 50 т/ч; большой – свыше 50 т/ч.

Таким образом, главные процессы переработки материала происходят в следующей последовательности: дробление, грохочение, обогащение и сортировка. Дробление является самым дорогим по стоимости замены быстроизнашивающихся частей и по расходу энергии.

Процесс разделения первичной горной породы на фракции характеризуется количественной и качественной схемами дробления. Количественная схема показывает разделение породы по фракциям с использованием дробилок и грохотов (рис. 3.9).

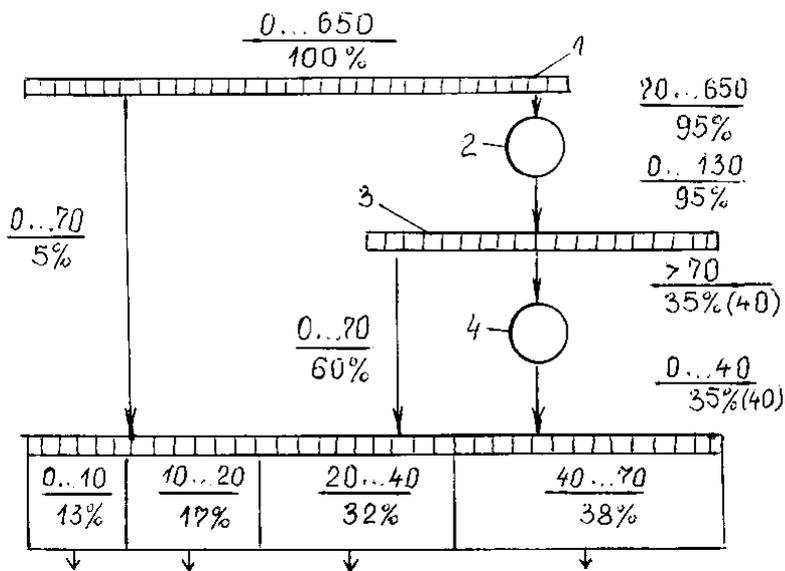


Рис. 3.9. Количественная схема открытого двухступенчатого дробления щебня: 1 – колосниковый отделитель; 2 – дробилка первичного дробления; 3 – грохот предварительного отсева; 4 – дробилка вторичного дробления; 5 – грохот окончательного отсева

Качественная оценка показывает технологическую последовательность движения каменных материалов от агрегата к агрегату для получения продукции заданного фракционного состава и в заданном количестве (рис. 3.10).

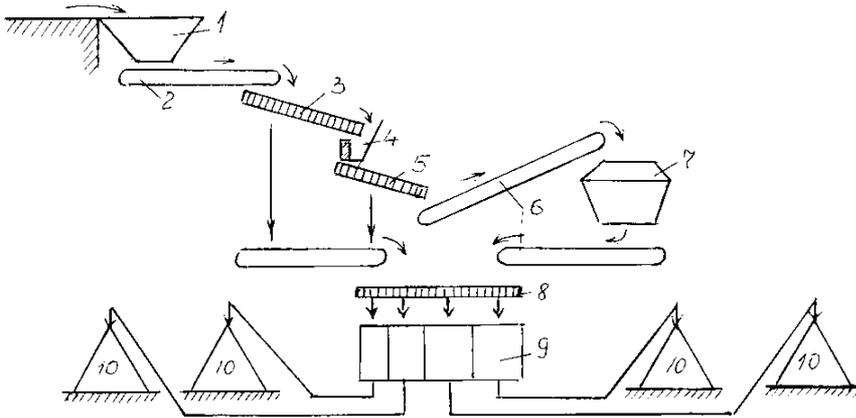


Рис. 3.10. Схема двухступенчатого дробления каменных материалов:

1 – загрузочный бункер; 2 – питатель; 3 – колосниковый отделитель; 4 – щековая дробилка первичного дробления; 5 – грохот предварительного отсева; 6 – транспортер; 7 – конусная дробилка вторичного дробления; 8 – грохот окончательного отсева; 9 – бункера; 10 – склады

При разработке песчано-гравийных месторождений получение качественного песка и гравия осуществляется на ПДСУ, снабженной загрузочным бункером с лотковым питателем, имеющей колосниковый грохот для предварительного разделения песчано-гравийной массы.

Технологическая схема переработки гравия зависит от характера и содержания загрязняющих примесей. При наличии средне- и труднопромываемых глин необходимо предусматривать промывку гравия в вибрационных или корытных мойках. Обогащение песков производится для выделения загрязняющих пылевато-глинистых примесей и улучшения гранулометрического состава (рис. 3.11). Образование пульпы и выделение зерен крупнее 5 мм происходит на вибрационном грохоте с брызгалами. Промывка (дешламация) и обезвоживание песка осуществляются в спиральных классификаторах. Установка может быть составной частью технологической схемы переработки гравийно-песчаной массы или самостоятельной. По данной схеме организуют и производство дробленых песков из отсевов дробления массивных пород (рис. 3.11).

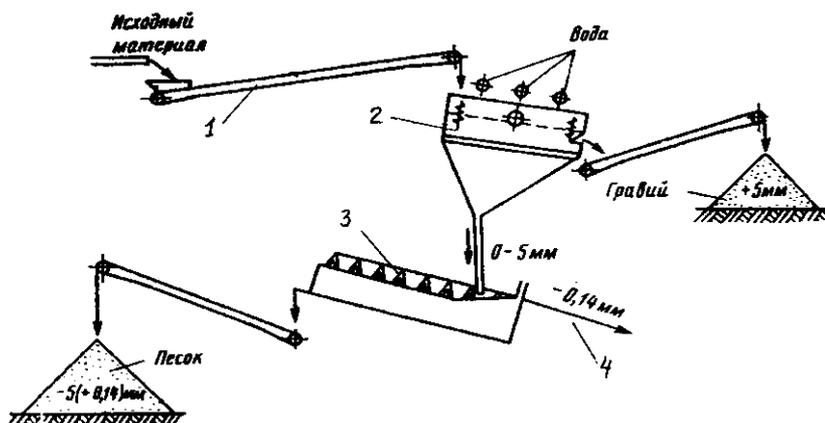


Рис. 3.11. Схема установки для промывки песка со спиральным классификатором:
 1 – ленточный конвейер; 2 – вибрационный грохот;
 3 – спиральный классификатор; 4 – пульповод

Продукт, получаемый в результате разделения на фракции и обогащения, относится уже не к грунтам, а к дорожно-строительным материалам. Между грунтами и материалами существуют различия, заложенные в трактовке определений и их классификационных признаков. Поэтому считают целесообразным обозначить эти различия, чтобы исключить путаницу при рассмотрении грунтов и строительных материалов.

В производственных условиях границей между гравийными и песчаными частицами принято считать не 2, а 5 мм, потому что при просеивании частиц через грохоты с отверстиями 5 мм получение песчаных фракций происходит значительно быстрее и производительнее, чем через сита с отверстиями 2 мм. К тому же присоединение частиц размером 2...5 мм к песчаным фракциям существенно улучшает физические и механические свойства песка. С другой стороны, удаление частиц размером 2...5 мм из массы гравия улучшает физические и механические свойства этих материалов.

Различие в трактовках касается определения "гравий". В грунтах это – окатанные частицы размером от 2 до 10 мм. В дорожно-строительных материалах он имеет размеры от 5 до 70 мм, что в грунтах частично соответствует гранулометрическому элементу галька.

По классификационным признакам существуют различия в разделении категорий песка и размеров гравия и щебня. Характеристика отдельных элементов приведена в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Характеристика отдельных элементов грунтов и дорожно-строительных материалов

Грунты (СТБ 943-93)		Дорожно-строительные материалы [16, 17]	
Название	Размер	Название	Размер
Песок гравелистый крупный средний мелкий пылеватый	2...0,05 мм	песок (ГОСТ 8736-85) повышенной крупности крупный средний мелкий очень мелкий	5...0,05 мм
	масса частиц крупнее 2 мм – более 25%		полный остаток на сите – 0,63%
	крупнее 0,5 мм – более 50%		по массе 65...75
	крупнее 0,25 мм – более 50%		45...65
	крупнее 0,1 мм – более 75%		30...45
крупнее 0,1 мм – менее 75%	10...30	до 10%	
Гравий	2...10 мм	гравий (ГОСТ 8268-62) фракции	5...70 мм 5...10 10...20 20...40 40...70
Щебень	10...200 мм	щебень (ГОСТ 8267-82) фракции	5...70 мм 5...10 10...20 20...40 40...70

4. СТРОИТЕЛЬСТВО АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

4.1. Характеристика асфальтобетонных смесей

Асфальтобетонное покрытие – одно-, двух-, трехслойное усовершенствованное покрытие капитального типа, построенное из плотных асфальтобетонных смесей (горячих, теплых или холодных). Согласно СНиП 2.05.02-85, такие покрытия устраивают на автомобильных дорогах I, II и III категорий, на основных внутризаводских дорогах крупных промышленных предприятий, на дорогах III, IV и V технических категорий из смесей, укладываемых в теплом и в холодном состоянии.

Асфальтобетонные смеси состоят из щебня, песка, минерального порошка и битума, высушенных, подогретых и смешанных до полной однородности в расчетных пропорциях. Все эти компоненты создают структуру каркасную или бескаркасную.

Каркасной называется структура, в которой асфальтовое вяжущее вещество не раздвигает зерен щебня и песка, и они контактируют между собой непосредственно или через прослойки структурированного битума.

В *бескаркасном* асфальтобетоне зерна щебня и песка раздвинуты избыточным содержанием вяжущего вещества, прочность и вязкость которого изменяются в связи с колебаниями температуры.

Асфальтобетонные смеси классифицируются по следующим признакам:

- 1) по температуре укладки в дорожное покрытие;
- 2) по плотности;
- 3) по виду минеральных материалов;
- 4) по крупности скелетных фракций;
- 5) по содержанию щебня или песка разных видов;
- 6) по маркам (сортам).

По температуре укладки смеси делятся на горячие, теплые и холодные.

Горячие смеси укладывают и начинают уплотнять при температуре не менее 120°C, так как они содержат вязкий битум БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130 или БН 60/90 и БН 90/130 и при меньшей температуре плохо уплотняются.

Теплые смеси укладывают и начинают уплотнять при температуре не ниже 100°С – при содержании в них битума БНД 130/200, БН 130/300, БНД 200/300 и БН 200/300 и не ниже 70°С – при содержании битума СГ 130/200, МГ 130/200 и МГО 130/200.

Холодные смеси укладывают при температуре воздуха не ниже 5°; они могут продолжительное время храниться в штабелях без слеживания, так как содержат жидкий битум МГ 70/130, МГО 70/130 и СГ 70/130.

По плотности асфальтобетоны из горячих и теплых смесей подразделяются на плотные (остаточная пористость – от 2 до 7%), пористые (от 7 до 12%) и высокопористые (от 12 до 18%).

По виду минеральных материалов асфальтобетонные смеси подразделяют на **щебеночные**, состоящие из щебня, песка, минерального порошка и битума; **гравийные** – из гравия, песка, минерального порошка и битума; **песчаные** – из песка, минерального порошка и битума.

По наибольшему размеру скелетных фракций минеральных материалов асфальтобетоны из горячих и теплых смесей подразделяются на **крупнозернистые** – до 40 мм, **мелкозернистые** – до 20 мм и **песчаные** – до 5 мм. Холодные смеси подразделяются на мелкозернистые и песчаные.

По содержанию щебня или песка в процентах от общей массы асфальтобетонные смеси подразделяются на: горячие и теплые – для плотного асфальтобетона марок: А – щебня от 50 до 60%, Б – щебня или гравия от 35 до 50%, В – щебня или гравия от 20 до 35%;

холодные: Б_х – щебня или гравия от 35 до 50%, В_х – щебня или гравия от 20 до 35%;

горячие плотные: Г – с дробленным песком или смесью дробленого с природным и долей природного песка по массе не более 30%; Д – с природным песком или смесью природного песка с дробленным с долей природного песка по массе не более 30%;

холодные: Г_х – с дробленным песком; Д_х – с природным песком или смесью природного с дробленным.

По маркам или сортам асфальтобетоны подразделяются в зависимости от прочности щебня и качества минерального порошка. Наиболее прочный щебень и высококачественный минеральный порошок используют в асфальтобетоне I марки, менее прочный и порошкообразные отходы промышленности – II и III марок. Приме-

нение щебня и минерального порошка, рекомендуемых для смесей I и II марок, допускается для III марки при экономической целесообразности.

Марки горячих и теплых плотных асфальтобетонов следующие: А – I и II; Б, В, Г – I и II; Д – II и III;

горячих и теплых пористых и высокопористых – I и II, холодных Б_х, В_х, Г_х – I и II, Д_х – II.

Ориентировочные составы асфальтобетонных смесей приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Ориентировочные составы асфальтобетонных смесей

Материалы	Составы горячих и теплых смесей					Составы холодных смесей	
	Нижний слой	много-щебенный	средне-щебенный	Верхний слой		мелко-зернистый	песчаный
				песчаный			
				с искусственным песком	с природным песком		
Щебень	50...75	50-65	35-50	–	–	20-40	–
Природный песок	25...50	30...40	45...55	35...50	85...90	20...35	24...40
Дробленый песок	–	–	–	35...50	–	20...35	40...60
Минеральный порошок	0...4	6...10	6...12	8...15	10...15	10...20	15...22
Битум (сверх 100%)	4...5	5...7	5,0...7,5	6...9	7...9	5,0...6,5	5,5...7,0

Выбор между горячим, теплым и холодным асфальтобетонами должен базироваться на ожидаемой интенсивности движения с учетом того факта, что чем меньше вязкость применяемого битума, тем меньше сцепление между зернами и больше износ покрытия. Так, при ожидаемом движении 3000 авт./сут и более целесообразно применять горячую асфальтобетонную смесь, до 3000 авт./сут – теплую смесь, при движении не более 2000 авт./сут – холодную.

Асфальтобетонные смеси испытывают в лабораторных условиях для определения их физико-механических характеристик. Для этого из смеси формируют образцы или из уложенного слоя асфальтобетона отбирают керны ненарушенной структуры. С асфальтобетоном проводят следующие лабораторные исследования.

1. Испытания по определению средней плотности, которую вычисляют с точностью до 0,01 г/см по формуле

$$\rho_c = \frac{m_0 \rho_v}{m_1 - m_2}, \text{ г/см}^3, \quad (4.1)$$

где m_0 – масса образца, определяемая взвешиванием его на воздухе, г;

ρ_v – плотность воды, равная 1 г/см³;

m_1 – масса образца, выдержанного в воде в течение 30 мин и взвешенного на воздухе, г;

m_2 – масса того же образца, взвешенного в воде, г.

2. Испытания по определению водонасыщения асфальтобетона, которые заключаются в вычислении приращения массы насыщенного водой образца. Водонасыщение вычисляется по формуле

$$W = \frac{m_3 - m_0}{m_1 - m_2} \cdot 100, \%, \quad (4.2)$$

где m_3 – масса насыщенного водой образца, выдержанного в вакуум-приборе под водой и взвешенного на воздухе, г;

m_0 – масса сухого (ненасыщенного водой) образца, взвешенного на воздухе, г;

m_1 – масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и взвешенного на воздухе, г;

m_2 – масса того же образца, взвешенного в воде, г.

3. Испытания на прочность асфальтобетона при сжатии:

1) сухих и водонасыщенных в вакууме образцов при температуре 20°C;

2) сухих образцов при температуре 50°C и 0°C;

3) образцов, выдержанных в воде в течение 15 сут. при температуре 20°C.

Образцы подвергают сжатию со скоростью деформирования, равной $3,0 \pm 0,5$ мм/мин до разрушения. Предел прочности образца при сжатии вычисляют с точностью до 0,01 МПа по формуле

$$R_{сж} = \frac{10P}{F}, \text{ МПа}, \quad (4.3)$$

где P – разрушающая нагрузка, кН;

F – площадь поперечного сечения образца, см².

Кроме лабораторных характеристик, производят расчет показателей, также отражающих физико-механические свойства асфальтобетона:

1) средней плотности его минеральной части:

$$\rho_{мчс} = \frac{\rho_c q_o}{q_o + q_b}, \text{ г/см}^3, \quad (4.4)$$

где ρ_c – средняя плотность асфальтобетона, г/см³;

q_o – содержание минеральных материалов в асфальтобетоне, % по массе, $q_o = 100\%$;

q_b – содержание битума в асфальтобетоне, % от массы минеральной части;

2) истинной плотности минеральной части:

$$\rho_{мчи} = \frac{100}{\frac{q_{щ}}{\rho_{щи}} + \frac{q_{п}}{\rho_{пи}} + \frac{q_{мп}}{\rho_{мпи}}}, \text{ г/см}^3, \quad (4.5)$$

где $q_{щ}$, $q_{п}$, $q_{мп}$ – содержание в асфальтобетоне соответственно щебня, песка и минерального порошка, % по массе;

$\rho_{щи}$, $\rho_{пи}$, $\rho_{мпи}$ – истинная плотность этих компонентов, г/см³;

3) истинной плотности асфальтобетонной смеси:

$$\rho_{и} = \frac{q_o + q_b}{\frac{q_o}{\rho_{мчи}} + \frac{q_b}{\rho_b}}, \text{ г/см}^3, \quad (4.6)$$

где q_0 – содержание минеральных материалов в асфальтобетоне (смеси), %, $q_0 = 100\%$;

q_6 – содержание битума в асфальтобетоне (смеси), % от массы минеральной части;

$\rho_{мчи}$ – истинная плотность минеральной части асфальтобетона, г/см³;

ρ_6 – истинная плотность битума, г/см³;

4) пористости асфальтобетона или его минеральной части:

$$V_{мч} = \left(1 - \frac{\rho_{мчс}}{\rho_{мчи}} \right) \cdot 100, \%, \quad (4.7)$$

где $\rho_{мчс}$ – средняя плотность минеральной части асфальтобетона, г/см³;

$\rho_{мчи}$ – истинная плотность минеральной части асфальтобетона, г/см³;

$$V_{ост} = \left(1 - \frac{\rho_с}{\rho_и} \right) \cdot 100, \%, \quad (4.8)$$

где $\rho_с$ – средняя плотность асфальтобетона, г/см³;

$\rho_и$ – истинная плотность асфальтобетона, г/см³;

5) набухания асфальтобетона при насыщении водой:

$$H = \frac{(m_3 - m_4) - (m_1 - m_2)}{m_1 - m_2} \cdot 100, \%, \quad (4.9)$$

где m_3 – масса насыщенного водой образца, взвешенного на воздухе, г;

m_4 – масса того же образца, взвешенная в воде, г;

m_1 – масса сухого образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и взвешенного на воздухе, г;

m_2 – масса того же образца, взвешенного в воде, г;

6) коэффициента водостойкости асфальтобетона:

$$K_B = \frac{R_{20}^B}{R_{20}}, \quad (4.10)$$

где R_{20}^B – предел прочности асфальтобетона при сжатии после водонасыщения в вакууме (при температуре 20°C), МПа;

R_{20} – предел прочности асфальтобетона при сжатии сухого образца при температуре 20°C, МПа.

4.2. Характеристика составляющих асфальтобетонной смеси

4.2.1. Минеральный материал

Для асфальтобетона применяют щебень: из естественного камня, полученный дроблением горных пород, из гальки, из металлургических шлаков, гравий как дорожно-строительный материал.

Щебень (гравий) характеризуется следующими показателями:

1. Прочность при раздавливании в цилиндре, или предел прочности при сжатии (формула (4.3)).

2. Показатель дробимости

$$D_p = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \%, \quad (4.11)$$

где m – масса навески щебня (гравия), г;

m_1 – масса остатка на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня (гравия), г.

Марки щебня (гравия) **по дробимости**: Др8 – при потерях массы пробы после испытания 8%, Др12 – от 8 до 12%, Др16 – от 12 до 16%, Др24 – от 16 до 24%.

3. Истираемость, вычисляемая по формуле

$$I = \frac{m - m_2}{m} \cdot 100, \%, \quad (4.12)$$

где m – масса пробы щебня (гравия), г;

m_2 – суммарная масса остатков на контрольном сите, г.

По истираемости щебень (гравий) подразделяется на марки: И I – при потере массы пробы щебня из природного камня до 20%, И II – 20...30%, И III – 30...40%, И IV – 40...50%/

4. Морозоустойчивость, под которой понимают способность материала в водонасыщенном состоянии выдерживать многократное замораживание и оттаивание без заметных разрушений и потери прочности. Если потери не превышают 5%, а прочность материала снижается не более чем на 25% после заданного числа циклов замораживания и оттаивания, материал считают выдержавшим испытания. Число циклов может быть равно 15, 25, 50.

Песок применяют природный и дробленый. Требования, предъявляемые к песку, касаются: предела прочности при сжатии (от 40 до 100 МПа), дробимости (от Др12 до Др24), массовой доли глинистых примесей (от 0,5 до 1,0%).

Минеральный порошок является одним из важнейших компонентов асфальтобетона, выполняющим две функции: 1) заполнение пустот песчано-щебенистого каркаса, повышение плотности минерального остова; 2) превращение нефтяного битума при смешении с ним в прочное асфальтовое вяжущее вещество, являющееся тем клеем, который объединяет зерна песка и щебня в плотный и прочный монолит.

Для успешного выполнения этих функций минеральный порошок должен обладать следующими свойствами:

1) при смешивании с битумом в асфальтобетонных смесях он не должен комковаться и образовывать агрегаты;

2) сцепление битума с поверхностью зерен минерального порошка должно быть настолько прочным, чтобы вода не отслаивала его в течение всего нормированного срока службы асфальтобетона в покрытии.

Для приготовления асфальтобетонных смесей в качестве минерального порошка применяют тонкоизмельченные известняки и доломиты, прочность которых при дробимости должна быть не менее 200, а также известняковые и доломитовые асфальтовые породы и основные металлургические шлаки. В отдельных случаях в качестве минерального порошка применяют отходы промышленности: золу каменного угля, сланцевую золу, цементную пыль, если они удовлетворяют требованиям ГОСТ 9128-84.

Тонкость помола минерального порошка должна быть такой, чтобы при мокром рассеве проходило через сито с отверстиями: 1,25 мм – 100%, 0,315 – не менее 90%, 0,071 мм – не менее 70% порошка. Пористость по объему при уплотнении под нагрузкой 40 МПа

должна быть не более 45% – у порошков из шлаков, зол уноса, цементной пыли и не более 35% – у прочих порошков.

4.2.2. Органические вяжущие материалы

К органическим вяжущим материалам, применяемым в дорожном строительстве, относятся: битумы нефтяные дорожные вязкие и жидкие, сланцевые, природные битумы, тяжелые нефти, дегти каменноугольные дорожные, эмульсии битумные и дегтевые, полимернобитумные вяжущие.

Нефтяные битумы делятся на вязкие и жидкие.

Вязкие нефтяные дорожные битумы имеют марки: БНД 40/60, БНД 90/130, БНД 130/200, БНД 200/300, БН 60/90, БН 90/130, БН 130/200, БН 200/300.

Буквы БНД означают "битум нефтяной дорожный", цифры 40/60, 60/90 и т.д. – показатели глубины проникания иглы, характеризующие вязкость битума.

Вязкие битумы изготавливают из окисленных и неокисленных продуктов прямой перегонки нефти и компацированием окисленных и неокисленных продуктов, получаемых при прямой перегонке нефти и селективном разделении нефтепродуктов.

Жидкие нефтяные дорожные битумы делятся на два класса в зависимости от скорости формирования их структуры: СГ – густеющие со средней скоростью; МГ – медленно густеющие.

В зависимости от вязкости жидкие битумы подразделяются на марки: СГ 40/70, СГ 70/130, СГ 130/200, МГ 40/70, МГ 70/130, МГ 130/200. Цифры в индексах марок битумов означают пределы условной вязкости в секундах.

Жидкие битумы готовят разжижением вязких битумов жидкими нефтяными продуктами.

Эмульсии битумные дорожные получают из битума путем диспергирования в воде с добавлением эмульгатора ПАВ. По виду ПАВ, используемых в качестве эмульгатора, битумные эмульсии делят на виды: анионные (ЭБА) и катионные (ЭБК).

Для приготовления эмульсий применяют битумы, эмульгаторы, воду, щелочи для анионных и кислоты для катионных эмульсий.

Органические вяжущие материалы, применяемые в дорожном строительстве, должны обеспечивать следующие свойства асфальтобетона:

1) прочное сцепление с поверхностью минеральных материалов – водостойкость и морозостойкость;

2) пластичность при низких температурах – трещиностойкость покрытий в зимнее время;

3) прочность и теплостойкость при высоких температурах – сдвигоустойчивость покрытий в жаркие летние дни;

4) устойчивость против старения – сохранение свойств во времени при технологических переработках (выпаривании, нагревании, смешении с минеральными материалами).

С органическими вяжущими материалами проводят следующие испытания для определения их физико-химических свойств:

1. Испытания по определению глубины проникновения иглы (ГОСТ 11501-78) характеризуют консистенцию битума и заключаются в измерении глубины погружения иглы в образец битума при температуре 25°C (0°C) в течение 5 с (60 с) под нагрузкой 100 г (200 г).

2. Испытания по определению температуры размягчения битума по кольцу и шару (ГОСТ 11506-73) характеризуют термостойкость битума и заключаются в определении температуры, при которой битум, находящийся в кольце заданных размеров, размягчится в подогреваемой воде и, опускаясь под тяжестью шарика, коснется контрольной полки прибора.

3. Испытания на растяжимость (ГОСТ 11505-75) характеризуют эластичность битума и заключаются в определении максимальной длины, на которую может растянуться без разрыва битум, залитый в форму, половинки которой раздвигаются с постоянной скоростью 5 см/мин при заданной температуре 25°C и 0°C в дуктилометре.

4. Испытания температуры хрупкости (ГОСТ 11507-78) характеризуют морозоустойчивость битума и заключаются в постепенном охлаждении и периодическом изгибе образца в приборе Фрааса до той температуры, при которой в битуме появляются трещины и образец битума ломается.

5. Испытания по определению условной вязкости (ГОСТ 11503-74) характеризуют вязкость жидких битумов и заключаются в измерении времени в секундах, в течение которого 50 мл битума при 60°C вытекает через отверстие диаметром 5 мм.

6. Испытания по определению изменения массы после прогрева (ГОСТ 18180-72) характеризуют стабильность свойств битума при нагревании и заключаются в определении уменьшения его массы вследствие испарения летучих компонентов или увеличения за счет окисления воздухом.

7. Испытания по определению содержания водорастворимых соединений (ГОСТ 11510-65) заключаются в определении массы водорастворимых соединений, полученных после выпаривания водной вытяжки из битума.

8. Испытания по определению фракционного состава жидких битумов (ГОСТ 11504-73) заключаются в определении фракций жидкого битума, выкипающих при температурах 225, 315 и 360°С.

Кроме вышперечисленных лабораторных исследований, битумы подвергаются испытаниям по определению: сцепления с мрамором и песком (ГОСТ 11508-74), температуры вспышки, истинной плотности, абсолютной вязкости в ротационном вискозиметре, количества испарившегося разжижителя из жидких битумов (ГОСТ 11504-73), водорастворимых кислот и щелочей (ГОСТ 11511-65), зольности, содержания воды, кислотного числа (ГОСТ 5985-79) и др.

4.3. Приготовление асфальтобетонных смесей

4.3.1. Проектирование состава асфальтобетона

Целью проектирования является установление такого соотношения между составляющими асфальтовый бетон материалами, которое обеспечивает его заданные технологические и эксплуатационные свойства.

В однослойных и верхних слоях двухслойных покрытий используют плотный, а в нижних слоях – пористый (преимущественно крупнозернистый) асфальтобетон, обеспечивающий необходимую прочность сцепления с верхними слоями дорожных одежд.

В задании на проектирование должны быть указаны:

1) назначение асфальтобетона (для верхнего или нижнего слоя покрытия), климатические условия района строительства;

2) вид асфальтобетона (плотный, пористый, высокопористый), его наименование (крупнозернистый, мелкозернистый, песчаный), тип смеси для плотного асфальтобетона (А, Б, В, Г, Д), ее марка (I, II, III);

3) характеристики исходных материалов.

Состав асфальтобетона подбирают в 3 этапа:

- 1) проверка качества составляющих материалов и соответствия их свойств установленным требованиям;
- 2) назначение вида и типа асфальтобетона в соответствии с заданными условиями движения и климата, расчет зернового состава;
- 3) приготовление смесей и формирование образцов с различным количеством битума при одинаковом гранулометрическом составе минеральной части.

Испытанием образцов определяют, какое количество битума является оптимальным.

Подбор состава производят по принципу обеспечения максимальной плотности и требуемой шероховатости. Зерновой состав минеральной части должен соответствовать требованиям непрерывной гранулометрии (только при отсутствии крупного и среднего песка состав подбирают по принципу прерывистой гранулометрии). Состав холодного асфальтобетона подбирают только по принципу непрерывной гранулометрии.

На свойства асфальтобетона значительное влияние оказывает качество песка: асфальтобетон с дробленным песком более сдвигоустойчив, чем с природным.

Зерновой состав минеральных частиц должен быть таким, чтобы после тщательного перемешивания составляющих смесь имела минимальную пустотность. Плотную смесь можно получить, если размеры частиц ее соседних фракций отличаются в 2 раза, а доля частиц по массе меньшей фракции от соседней большей составляет 0,7...0,9. Эту величину называют *коэффициентом сбега*. Рекомендуются применять смеси с коэффициентом сбега, равным 0,65...0,80 (ГОСТ 9128-84).

Количество битума в смеси должно быть оптимальным, т.е. обеспечивающим максимальную прочность асфальтобетона. Избыток битума снижает сдвигоустойчивость, недостаток – трещиностойкость и водостойкость.

4.3.2. Производство асфальтобетонных смесей

Процесс приготовления асфальтобетонных смесей включает: просушивание, нагрев, сортировку нагретых песка и щебня по сортам; нагрев битума; дозирование песка, щебня, минерального по-

рошка и битума в соответствии с заданным составом смеси; перемешивание всех компонентов смеси.

Щебень и песок должны быть полностью просушены и нагреты до поступления в мешалку на $5...10^{\circ}\text{C}$ больше битума. При применении ПАВ допускается влажность минеральных материалов для горячих смесей – до 1%, теплых и холодных – до 3%. Погрешность дозирования для минеральных составляющих не должна превышать $\pm 3\%$.

Минеральный порошок вводят в мешалку без предварительного подогрева.

Битум должен быть полностью обезвожен и нагрет до рабочей температуры: вязкий (в зависимости от марки) – до $100...150^{\circ}\text{C}$, жидкий – до $70...100^{\circ}\text{C}$, погрешность дозирования битума не должна превышать $\pm 1,5\%$.

Температура готовой горячей асфальтобетонной смеси при выходе из смесителя должна быть в пределах $140...160^{\circ}\text{C}$, а при укладке в покрытие – не ниже 120°C .

Для вязких битумов марок БНД 130/200 – БНД 200/300 температура приготовления теплых асфальтобетонных смесей составляет $120...140^{\circ}\text{C}$, укладки в покрытие – не ниже 100°C , $90...110^{\circ}\text{C}$ и не ниже 70°C ; для жидких битумов марки СГ 130/200 – $100...120^{\circ}\text{C}$, для битумов марок МГ 130/200, МГО 130/200 – не ниже 70°C .

Холодные смеси на жидких битумах марки СГ 70/130 приготавливают при температуре $80...100^{\circ}\text{C}$, марок МГ 70/130, МГО 70/130 – при температуре $90...100^{\circ}\text{C}$, а укладывают в конструктивные слои дорожных одежд – при температуре не ниже 5°C .

Ориентировочное время перемешивания в лопастных мешалках периодического действия с циркуляционной схемой движения материала составляет: для сухого перемешивания – 15 с; для мокрого – от 20 до 60 с; продолжительность перемешивания крупнозернистых смесей в мешалках свободного перемешивания – $120...180$ с. Продолжительность приготовления холодных асфальтобетонных смесей должна в 1,3...1,5 раза превышать продолжительность приготовления горячих смесей.

Технология приготовления асфальтобетонных смесей включает следующие операции:

1) подача песка и щебня со склада в агрегат питания для предварительного дозирования и подачи в сушильный агрегат;

2) подсушивание и нагревание минеральных компонентов и подача их на сортировочное устройство (грохот);

3) сортировка материалов по крупности и подача их в соответствующие отсеки бункера;

4) подача минерального порошка в соответствующий отсек бункера либо в отдельную расходную емкость;

5) взвешивание минеральных составляющих на суммирующем весовом устройстве и загрузка их в двухвальную лопастную мешалку;

6) подача битума и перемешивание смеси до однородного состояния;

7) выгрузка готовой смеси в накопительный бункер-термос или в кузов автомобиля-самосвала.

4.3.3. Заводы для приготовления асфальтобетонных смесей

Завод асфальтобетонный (АБЗ) – это производственное предприятие дорожной организации для приготовления асфальтобетонных смесей и черного щебня. Предприятие состоит из комплекса технологического оборудования стационарного или передвижного типа с автоматизированным управлением процессами, выполняемыми машинами и агрегатами, расположенными в технологической последовательности и обеспечивающими хранение, перемещение, дозирование и перемешивание составляющих материалов смеси с выдачей готовой продукции в транспортные средства для доставки на место укладки.

В состав АБЗ входят:

1) оборудование складского хозяйства с расходными запасами щебня, песка, минерального порошка;

2) битумохранилище;

3) склад топлива и смазочных материалов;

4) средства внутризаводского транспорта материалов;

5) оборудование для просушки и нагрева щебня и песка, обезвоживания и нагрева битума, дозирования и перемешивания всех компонентов асфальтобетонной смеси, для энерго-, водо-, воздухо- и пароснабжения технологических агрегатов;

6) лаборатория для контроля качества материалов и процесса приготовления смеси;

7) помещения служебного и бытового назначения.

В дорожном строительстве находят применение АБЗ производительностью от 12 до 200 т/ч, комплектуемые *технологическими аг-*

*регат*ами мобильного или полустационарного типа. Технологическая схема производства горячей асфальтобетонной смеси приведена на рис. 4.1.

Компоновка агрегатов может быть партерная, башенная и полубашенная, что зависит от принятого способа перемешивания асфальтобетонных смесей – периодического или непрерывного.

Агрегат питания (рис. 4.1), предназначенный для предварительного дозирования щебня (гравия), песка, служит также питателем для равномерной подачи материалов в сушильный барабан. *Питатель* представляет собой несколько расположенных рядом бункеров с затворами на выпускных отверстиях одного или нескольких ленточных транспортеров. В установках большой мощности имеется несколько агрегатов-питателей.

Сушильный агрегат включает сушильный барабан с топками и форсунками, расходную емкость топлива для форсунок (при использовании жидкого топлива).

Сушка и нагрев щебня (гравия), песка производится в *сушильном барабане* непрерывного действия горячими газами, которые движутся навстречу движению материала. Дымовые газы из сушильного барабана и воздух из очагов интенсивного пылеобразования отсасывают вентиляторами через агрегат сухого обеспыливания и дополнительно очищают в агрегате мокрого обеспыливания.

Допустимая норма пыли в воздухе определяется из выражения

$$C_{\text{п}} = \frac{(A + MEm)}{H^2 \sqrt{V\Delta T}}, \quad (4.13)$$

где A – температурный коэффициент стратификации (для АБЗ $A = 120$);

M – количество вредных выбросов, г/с;

E – коэффициент, учитывающий оседание газов (для АБЗ $E = 2,5$);

t – коэффициент условия выхода газов из устья источника (для АБЗ $t = 1$);

H – высота источника выброса (дымовой трубы), м;

V – объем выбрасываемых газов, м³/с;

ΔT – разность температур выбрасываемого газа и окружающего воздуха.

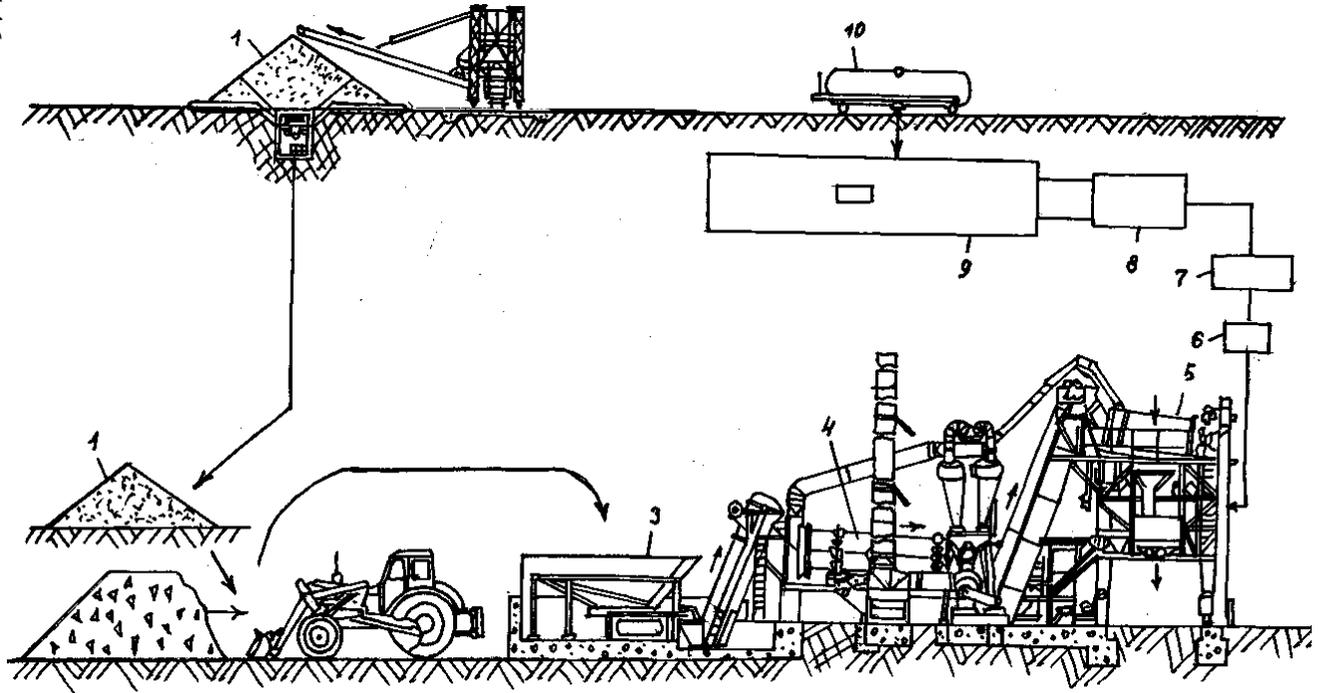


Рис. 4.1. Технологическая схема производства горячей асфальтобетонной смеси:

1 – склад каменных материалов; 2 – одноковшовый погрузчик; 3 – бункер-питатель; 4 – сушильный агрегат; 5 – смесительный агрегат; 6 – дозатор битума; 7 – установка для обезвоживания и нагрева битума до рабочей температуры; 8 – обогреваемая цистерна; 9 – битумохранилище; 10 – железнодорожная цистерна с битумом

В *смесительный агрегат* входят: ковшовый элеватор; грохот; теплый бункер с отсеками для гранения рассортированного горячего материала; многофракционный дозатор для щебня, песка, минерального порошка и вяжущего; смеситель; накопительный бункер; бункеры-термосы.

Грохоты могут быть барабанные и плоские вибрационные в специальном исполнении, предохраняющем от передачи вибрации на металлоконструкцию смесительного агрегата.

Теплый бункер расположен под грохотом и разделен на отсеки для отдельных сортов щебня и песка (количество отсеков соответствует количеству сит грохота). На выходе из отсеков установлены затворы, обеспечивающие своевременную подачу каждой фракции к дозирующим устройствам.

Для контроля уровня материала в отсеках горячего бункера установлены *датчики-уровнемеры*. Бункер, как правило, имеет систему обогрева.

Смесители бывают лопастные принудительного действия, циклического или непрерывного действия. Битум нагревают в хранилище до 90°C и перекачивают шестеренным насосом по битумопроводам в нагревательный агрегат, где его температура доводится до рабочих. Подачу битума производят под давлением до 2,0 МПа при тонком его распылении и повышенной частоте вращения лопастных валов смесителя.

Накопительный бункер устраивают непосредственно под разгрузочным отверстием смесителя или в виде отдельного агрегата бункера-термоса. В последнем случае готовая смесь из разгрузочного отверстия смесителя поступает при помощи скипового подъемника в бункер.

4.4. Устройство асфальтобетонных покрытий

4.4.1. Конструкции дорожных одежд

Конструкцию дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием выбирают исходя из требований к прочности всей конструкции, природных условий и местных материалов.

Поперечный уклон асфальтобетонных покрытий назначают в пределах 15...20%. Такой же уклон должно иметь основание. Ас-

фальтобетонные покрытия устраивают на дорогах с продольным уклоном до 60‰, причем при уклонах более 40 ‰ обязательно устройство шероховатой поверхности.

Основание устраивают шире покрытия на 0,5 м в каждую сторону. На дорогах I и II технических категорий уширенные основания – необходимый элемент конструкции. Чтобы предотвратить разрушение боковой кромки проезжей части и не допустить попадания воды под дорожную одежду, пространство над уширенным основанием заполняют водонепроницаемым материалом.

Краевые полосы вдоль кромок проезжей части должны быть светлее, чем проезжая часть, для повышения безопасности движения, особенно в ночное время. Примеры конструктивных профилей дорожных одежд приведены на рис. 4.2 [10].

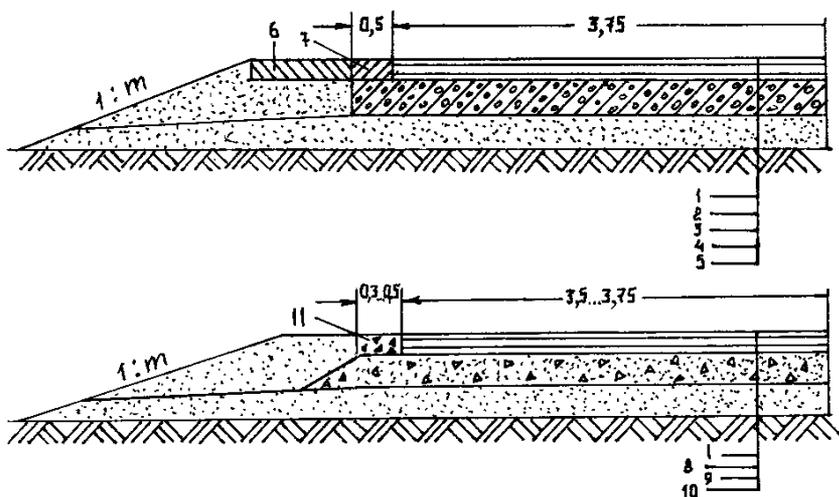


Рис. 4.2. Конструктивные профили дорожных одежд:

- 1 – асфальтобетон, верхний слой – 3 см; 2 – то же, нижний слой – 4 см; 3 – то же, нижний слой – 5 см; 4 – цементобетон, 20 см; 5 – песчаный слой, 18 см; 6 – битумоминеральная смесь; 7 – плиты из белого цементобетона; 8 – асфальтобетон, нижний слой – 4,5 см; 9 – щебеночное основание с поливкой битума 2,5 л/м², – 16 см; 10 – песчаный слой, 18 см; 11 – засыпка светлым щебнем

Устраивая основание из необработанного щебня, перед последней россыпью расклинивающего материала рекомендуется разли-

вать битум в количестве 2...2,5 л/м² для повышения сдвигоустойчивости щебеночного основания из гравийного материала; кроме того, необходимо вводить в него дробленый гравий или щебень в количестве не менее 30% от общего объема.

Холодный асфальтобетон укладывают на основание из черного щебня или на нижний слой из горячего крупнозернистого асфальтобетона, на основание, устроенное способом пропитки, или на старые черные покрытия. На дорогах с небольшой интенсивностью движения покрытие из холодного асфальтобетона можно устраивать на щебеночном или цементогрунтовом основании, предварительно подгрунтованном жидким битумом в количестве до 1 л/м².

Горячие смеси укладывают более толстым слоем, чтобы в них дольше сохранилось тепло при уплотнении.

4.4.2. Покрытия из горячих и теплых асфальтобетонных смесей

В технологию устройства асфальтобетонных покрытий входят следующие *основные операции*:

- 1) приготовление асфальтобетонной смеси;
- 2) подготовка основания;
- 3) транспортирование смеси;
- 4) укладка и уплотнение.

Приготовленную на заводе смесь транспортируют к месту укладки автомобилями-самосвалами. Качество асфальтобетонной смеси зависит от ее температуры. Доброкачественная смесь при доставке на трассу образует в кузове самосвала пологий конус, имеет равномерный черный цвет, не дымит, подвижна, не имеет комьев и пятен битума. Поскольку, как уже отмечалось ранее, температура смеси по прибытию к месту укладки должна быть не ниже: для горячих смесей +120°С, для теплых смесей +80°С, ориентировочные допускаемые расстояния транспортирования составляют: в жаркую погоду – 40...50 км – для горячих смесей и 60...80 км – для теплых смесей, в прохладную погоду – 20...30 км – для горячих смесей и 40...50 км – для теплых.

Теплую асфальтобетонную смесь можно укладывать при температуре воздуха до -5°С, горячую – до +5°С. Такие ограничения вы-

званы тем, что уложенная на основание смесь очень интенсивно остывает, и покрытие может остаться неуплотненным.

Перед укладкой покрытия необходимо проверить основание. При выявлении значительных неровностей его выравнивают путем рассыпки черного щебня с последующим уплотнением. Основание перед укладкой смеси тщательно очищают от пыли и грязи для того, чтобы асфальтобетонное покрытие имело с ним прочное сцепление. Для удаления пыли и грязи целесообразно использовать, помимо механических щеток, компрессорное дутье.

Сцепление покрытия с нижележащим слоем усиливают за счет подгрунтовки эмульсией или жидким битумом за сутки до укладки покрытия – при применении жидкого битума класса СГ – и за двое суток – при применении жидкого битума класса МГ. Расход вяжущего для подгрунтовки составляет 0,5...0,6 л/м². Подгрунтовку делают по основаниям, не обработанным органическими вяжущими, или по старым черным покрытиям, используемым в качестве основания.

Асфальтобетонную смесь в покрытиях укладывают асфальтоукладчиком, что дает хорошую ровность, плотность и равнопрочность покрытия по ширине и толщине. Ширину укладываемой полосы можно изменять от 3 до 3,75 м, толщину слоя – от 3 до 15 см.

Технологический процесс устройства покрытия из асфальтобетонной смеси состоит из следующих основных операций:

- 1) очистки основания от пыли и грязи;
- 2) подвозки и выгрузки в бункер асфальтоукладчика готовой смеси;
- 3) распределения смеси слоем требуемой толщины по основанию;
- 4) уплотнения его катками разной массы.

Технологическая схема устройства двухслойного асфальтобетонного покрытия изображена на рис. 4.3.

При укладке смеси одним асфальтоукладчиком работу выполняют поочередно на двух полосах. Рекомендуется укладывать смесь двумя асфальтоукладчиками, работающими одновременно на двух смежных полосах, с отставанием одного от другого на 10...15 м.

Первое наполнение укладчика асфальтобетонной смесью производится не в движении, а на месте. При этом включают питатель и подают смесь к шнекам и отражающей плите. Когда заполнится пространство под шнеками, их включают для равномерного распределения смеси по всей ширине укладчика. Движение укладчика можно начинать, когда заполнено все пространство перед отражающей плитой. Одновременно включают трамбующий брус.

№ захватки	I	I	II	II	II	III	III	III
№ рабочих операций	1	2, 3	4, 5	6	7	8, 9	10	11
Процессы	1. Очистка обрабатываемой поверхности от пыли и грязи	2. Подсушка влажных участков 3. Подгрунтовка	4. Доставка горячей смеси 5. Укладка нижнего слоя	6. Укатка нижнего слоя легким катком	7. Укатка нижнего слоя тяжелым катком	8. Доставка горячей смеси 9. Укладка верхнего слоя	10. Укатка верхнего слоя легким катком	11. Укатка верхнего слоя тяжелым катком
Машины	1. Механические щетки 2. Передвижной битумный котел	3. Сушильный агрегат 4. Автогидроплатформа	5. Автосамосвал 6. Асфальтоукладчик	7. Самоходный каток массой до 8 т 8. Жаровня для инструментов	9. Самоходный каток массой до 15 т	5. Автосамосвал 6. Асфальтоукладчик	7. Самоходный каток массой до 8 т	8. Жаровня для инструментов 9. Самоходный каток массой до 15 т

Рис. 4.3. Технологическая схема устройства двухслойного асфальтобетонного покрытия из горячего асфальтобетона

Укатку слоев начинают после того, как температура разложенной по основанию горячей смеси понизится до 100°С. Уплотняют покрытия начинают легкими катками массой 6...8 т, а заканчивают тяжелыми – массой 10...15 т. Длина укатываемой захватки обычно составляет 10...15 м. Чтобы не возникла волна, каток при первых проходах должен двигаться ведущими вальцами вперед. Рабочая скорость катков при уплотнении асфальтобетонных смесей: в начале укладки – до 2 км/ч; после 5...6 проходов по одному следу – до 3...5 км/ч – для гладковальцовых катков, 5...8 км/ч – для катков на пневматических шинах и до 2...3 км/ч – для виброкатков. Укатку ведут от краев полосы к середине с перекрытием предыдущего следа на 20...30 см.

Необходимый задел нижнего слоя для успешной бесперебойной укладки верхнего – не менее сменной захватки (от 250...300 до 500...700 м при использовании высокопроизводительных машин).

Длина сменной захватки определяется из следующего выражения:

$$L = \frac{Q \cdot K_{\Pi} \cdot 1000}{b \cdot (P_1 + P_2)}, \text{ м}, \quad (4.14)$$

где Q – сменная производительность АБЗ, т (определяется в зависимости от оптимальной скорости потока, м/смену);

K_{Π} – коэффициент, учитывающий потери смеси при транспортировании и укладке, $K_{\Pi} = 0,98$;

b – ширина устраиваемого покрытия, м;

P_1 и P_2 – соответственно расход смеси на 1 м² укладываемого слоя и расход мелкого обработанного вяжущими щебня на 1 м².

Толщина асфальтобетонных слоев указана в табл. 4.2.

Расчетные значения толщины асфальтобетонного покрытия

Конструктивный слой	Толщина слоя, см	Конструктивный слой	Толщина слоя, см
Однослойное покрытие: из горячего и теплого асфальтобетона	4...6	Общая толщина двух- слойных покрытий с верхним слоем:	
из холодного асфальтобетона	3...4	из щебенистого асфальтобетона (типа А, Б, В)	7,5...13
Двухслойное покрытие: верхний слой – из мелко- и сред- незернистого асфальтобетона	3,5...5	из песчаного асфальтобетона (типа Г, Д)	7...9,5
то же из песчаного асфальтобетона	3...3,5	Наименьшая толщина асфальтобетона из холодного асфальтобетона	12
нижний слой – из среднезернистого асфальтобетона	4...6	Наименьшая толщина покрытия из холодного асфальтобетона	3
то же из крупнозернистого асфальтобетона	5...8	Наименьшая толщина защитного слоя (поверхностной обработки)	1,5
Основание из обработанного (черного) щебня или пористой асфальтобетонной смеси	до 8		

4.4.3. Покрытия из холодных асфальтобетонных смесей

Технология устройства покрытий из холодных асфальтобетонных смесей состоит из следующих операций:

- 1) подготовка основания;
- 2) транспортирование;
- 3) укладка и уплотнение смеси.

Основание подготавливают так же, как и при устройстве покрытий из горячих и теплых смесей; транспортирование холодной смеси возможно на любое экономически оправданное расстояние. Холодную смесь до укладки можно хранить в штабелях на придорожных складах в виде ровных площадок, обеспеченных водоотводом. Холодную смесь с жидким битумом класса СГ может храниться до четырех месяцев, с жидким битумом класса МГ – до восьми месяцев. Для повышения сцепления слоя холодного асфальтобетона с основанием за двое суток до укладки покрытия разливают жидкий битум СГ-40/70, МГ-70/130, битумную эмульсию в количестве 0,5...0,8 л/м². Если в качестве основания используют старые черные

покрытия, содержащие избыток битума, холодную смесь можно укладывать только поверх заранее уложенного слоя из обработанного щебня. Температура розлива битума должна быть 70...80°C [10]. Холодную смесь укладывают асфальтоукладчиком; технологический процесс аналогичен укладке горячей смеси.

После прохода укладчика и уплотнения трамбуящим брусом толщина слоя должна быть на 10...15% больше проектной. Коэффициент относительного уплотнения холодной смеси составляет 1,6...1,7.

При отсутствии укладчика или при работах на уширениях холодную смесь укладывают вручную или автогрейдером. Заданную толщину покрытия контролируют путем предварительной укладки на основании маяков в виде деревянных реек, толщина которых должна соответствовать толщине покрытия в плотном месте.

При использовании автогрейдера (на дорогах IV, V категорий) вывезенную холодную смесь собирают в мерный вал вдоль оси проезжей части длиной 200...250 м. Затем приступают к разравниванию смеси автогрейдером круговыми проходами.

Уплотнение покрытий из холодных смесей существенно отличается от покрытий из горячих смесей. Уплотнение и формирование покрытия наиболее интенсивно происходит под воздействием проезжающих автомобилей в течение первых 3...4 недель после постройки, а затем – постепенно в течение нескольких лет. Начальное уплотнение после укладки осуществляется легкими катками весом 5 т за 3...4 прохода по одному следу. При наличии катков на пневматических шинах можно ускорить формирование 6...8-ю проходами катка по одному следу.

При интенсивности движения не менее 500 авт./сут и благоприятной погоде через 2...3 недели покрытие достигает эксплуатационного качества.

4.4.4. Устройство тонкослойных асфальтобетонных покрытий, выполняемых по технологии «Новачип»

Тонкослойные асфальтобетонные покрытия представляют собой покрытия из специальных асфальтобетонных смесей,готавливаемых в горячем состоянии и укладываемых на слой проклеивания и герметизации из катионной модифицированной эмульсии, наносимой непосредственно перед укладкой асфальтобетонной смеси.

Тонкослойные покрытия применяются в качестве фрикционных слоев, слоев гидроизоляции и износа на асфальтобетонных покрытиях, а также для устранения колеиности асфальтобетонных покрытий глубиной до 25 мм.

Для приготовления асфальтобетонных смесей тонкослойных покрытий используются составляющие:

- 1) щебень из магматических и метаморфических горных пород по дробимости не ниже 1200, марки по истираемости не ниже И-1, марки по морозостойкости не ниже F 50;
- 2) песок, изготавливаемый из отсевов дробления;
- 3) модифицированный битум марок БМ 70/100 и БМ 100/130;
- 4) модифицированная катионная эмульсия для создания слоя проклеивания.

Асфальтобетонная смесь приготавливается в асфальтосмесительных установках периодического или непрерывного действия.

На укладке тонкослойного покрытия могут использоваться комбайн «Новачип» компании Screg Route – Sir (Франция) и асфальтоукладчики, оборудованные устройствами для распределения эмульсии.

Для обеспечения непрерывной работы одного комбайна суммарная мощность асфальтобетонных установок должна составлять 150 т/ч.

Комбайн «Новачип» (рис. 4.4) представляет собой накопитель-укладчик непрерывного действия, смонтированный на специальном автомобильном шасси. Комбайн обеспечивает приемку и хранение специальной горячей асфальтобетонной смеси в термобункере емкостью 10 т, а также битумополимерной эмульсии в термобункере емкостью 8 т с последующим нанесением, укладкой, распределением и уплотнением смеси.

Подготовительные работы перед укладкой тонкослойного покрытия включают в себя следующие операции:

- 1) удаление маркировочных линий из термопластика;
- 2) ремонт и герметизацию трещин и швов;
- 3) ремонт ям и выбоин глубиной более 25 мм с использованием горячего асфальтобетона;
- 4) очистку покрытия от грязи и пыли.

Комбайн выполняет операции, связанные с проклеиванием, укладкой и уплотнением асфальтобетонной смеси за один проход. Слой проклеивания наносится путем нагнетания модифицированного битума через распределительную рампу. При этом температу-

ра эмульсии должна составлять 60...80°C, асфальтобетонной смеси – 140...170°C; расход эмульсии – 0,9 л/м².

Сочетание эмульсии и асфальтобетонной смеси с различными температурами позволяет укладывать тонкослойные покрытия толщиной 10...15 мм, что недостижимо при укладке горячих асфальтобетонов по традиционной технологии. Кроме того, экономится асфальтобетонная смесь и количество вяжущего при увеличении продолжительности строительного сезона.

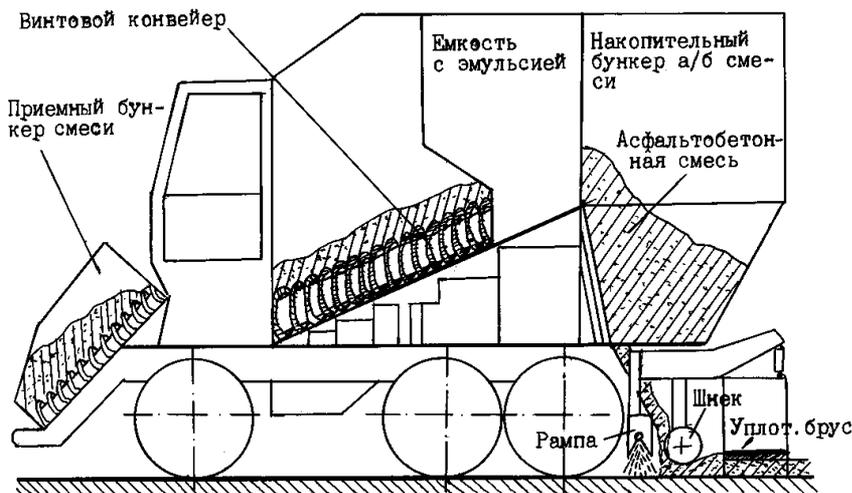


Рис. 4.4. Схема комбайна «Новачип»

5. СТРОИТЕЛЬСТВО ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ

5.1. Характеристика цементобетонных покрытий

Цементобетонные покрытия имеют целый ряд преимуществ и отличительных особенностей по сравнению с другими покрытиями. Они обладают высокой прочностью, имеют продолжительный срок службы, длительные межремонтные сроки, высокий коэффициент сцепления с колесом автомобиля; их устройство полностью механизировано. Вместе с тем, имеются определенные трудности при их

ремонте: необходимость выдерживания в течение длительного времени между укладкой покрытия и началом автомобильного движения, снижение комфортности движения из-за частых поперечных швов, которые, в свою очередь, являются источником возникновения очагов разрушения.

Монолитные цементобетонные покрытия устраивают на дорогах I, II и III категорий с интенсивным движением автомобилей большой грузоподъемности (с нагрузкой на ось 100 кН и более).

По конструкции цементобетонные покрытия подразделяются на **неармированные, армированные и предварительно-напряженные**.

Среди армированных покрытий различают следующие виды по степени насыщения сечения продольной арматурой: до 0,25% – армированные; 0,25...0,4% – железобетонные; 0,4...0,7% – непрерывно армированные.

Предварительно-напряженные покрытия представляют собой конструкции, обладающие повышенной трещиностойкостью и работоспособностью в процессе эксплуатации благодаря предварительному обжатию бетона (до 1 МПа). По способу создания предварительного напряжения монолитные покрытия делятся на покрытия с внешним безарматурным обжатием бетона и с предварительно напрягаемой арматурой (струны, пучки, стержни периодического профиля). В струнобетонных покрытиях предварительное напряжение создается высокопрочной стальной проволокой диаметром 4...5 мм с пределом прочности 1600 МПа, напрягаемой до бетонирования и отпускаемой на бетон после достижения им 70...80% проектной прочности. За счет предварительного напряжения удается снизить толщину покрытий до 10...15 см.

По способу устройства [18] различают монолитные покрытия:

1) устраиваемые с помощью комплекта высокопроизводительных машин со скользящими формами (опалубкой) и автоматической системой обеспечения ровности;

2) устраиваемые с помощью машин, передвигающихся по рельсформам и одновременно выполняющих функцию неподвижной опалубки при бетонировании покрытия.

Сборные покрытия [19] состоят из бетонных плит, которые изготавливаются в заводских условиях и укладываются на дорогу кранами или другими видами монтажного оборудования.

Покрытия из неармированного цементобетона устраивают однослойными либо двухслойными с верхним слоем толщиной не менее 6 см. Общую толщину покрытия назначают 18...24 см и более в зависимости от категории автомобильной дороги, состава и интенсивности движения автомобилей, вида материала основания.

Для предотвращения образования случайных трещин в покрытии устраивают продольные и поперечные швы. Поперечные подразделяются на швы расширения, сжатия, коробления и рабочие. Продольные и поперечные швы должны пересекаться под прямым углом.

Швы расширения повышают продольную устойчивость бетонного покрытия при максимальном нагреве летом. Расстояния между швами – от 16 до 110 м в зависимости от температуры воздуха во время бетонирования, толщины покрытия и климатических условий района расположения дороги.

Швы сжатия устраивают между швами расширения с целью предупреждения образования случайных поперечных трещин при совместном действии температуры, усадки бетона и нагрузок от движущихся автомобилей. Расстояния между швами сжатия (длину плиты) назначают по расчету в зависимости от толщины плиты и климатических факторов. Для умеренного климата длину плиты назначают равной 4,5...5 м – при толщине покрытия 18 см; 5...6 м – при толщине покрытия 20...22 см и 5,5...7 м – при толщине 24 см. Большая длина плиты соответствует надежности покрытия около 50%, меньшая – около 85%. Под надежностью следует понимать число плит без трещин в процентах от всех плит на последний срок службы покрытия.

Швы коробления размещают через один шов сжатия при длине плит не менее 7 м. Их устраивают с целью повышения продольной устойчивости покрытия, уменьшения раскрытия швов и перекосов плит при температурных деформациях.

Рабочие швы устраивают по типу швов расширения в конце рабочей смены или при перерыве бетонирования покрытия более чем на 3 ч.

Для исключения образования уступов в швах и обеспечения передачи нагрузки с одной плиты на другую края плиты вдоль швов (кроме швов коробления) соединяют стальными штырями. Применяемые конструкции швов приведены на рис. 5.1.

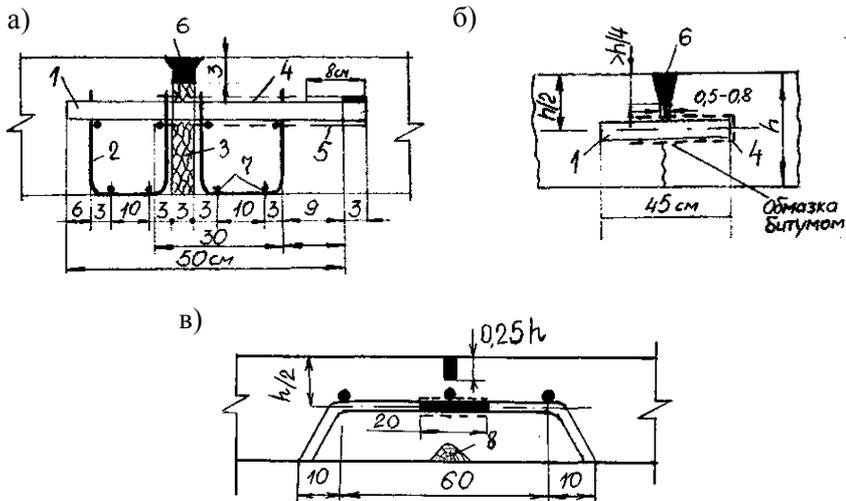


Рис. 5.1. Конструкции поперечных швов:

а – шва расширения; б – шва сжатия; в – шва коробления; 1 – штыри; 2 – каркасная корзинка; 3 – деревянная доска-прокладка; 4 – битумная обмазка; 5 – колпачок из резины; 6 – мастика; 7 – штыри-анкеры $\varnothing 14...16$ мм; 8 – деревянная рейка

Пазы поперечных и продольных швов заполняют битуморезиновыми, битумополимерными и полимерными мастиками или запрессовывают в них полимерные готовые прокладки.

На дорогах I и II категорий вдоль краев покрытия устраивают укрепительные полосы из монолитного или сборного бетона шириной до 0,75 м, на дорогах III категории – 0,5 м. В монолитных бетонных укрепительных полосах устраивают только швы сжатия без армирования и нарезают их как продолжение швов основного покрытия.

Для выравнивающего слоя применяют: черный песок или щебеночно-песчаную смесь, обработанную битумом, толщиной 3...5 см; необработанный песок и щебень фракции 0...5 мм толщиной 4...5 см.

Ширина основания должна обеспечивать установку рельс-форм (8...8,5 м) и проход гусениц безрельсовых бетоноукладочных машин (9,6 м). При грузоподъемности построечных автомобилей 7 и 12 т минимальную толщину основания принимают: из укрепленных неорганическими и органическими вяжущими материалами грунтов – соответственно 14 и 16 см; из неукрепленных каменных материалов – 15 и 17 см. Толщина основания для II дорожно-климатической зоны

назначается: не менее 15 см – для мелкого песка; 25 см – для супеси; 30 см – для суглинка. Для обеспечения прохода построечных автомобилей песчаное основание укрепляют вяжущими материалами на глубину 10...12 см.

5.2. Характеристика цементобетонных смесей

5.2.1. Цементобетонные смеси

Цементный бетон – это искусственный камневидный материал, состоящий из зернистого минерального скелета, скрепленного затвердевшим цементным камнем, полученный в результате твердения уплотненной цементобетонной смеси.

Цементобетонная смесь – это рационально подобранная и тщательно перемешанная в специальных установках смесь минеральных материалов (щебня или гравия и песка) с цементом, необходимыми добавками и водой при определенном водоцементном отношении, обеспечивающая получение цементобетона требуемой марки по прочности и долговечности.

По назначению дорожные бетоны подразделяют на: бетоны для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий; бетоны для нижнего слоя двухслойных покрытий; бетоны для дорожных оснований.

Основным свойством, характеризующим дорожный бетон, является прочность: *прочность на растяжение при изгибе* $R_{рн}$ и *прочность при сжатии* $R_{сж}$. Прочность на растяжение при изгибе является основной прочностной характеристикой, поэтому проектирование и подбор состава бетона, контроль его качества производят с учетом этого показателя. Соотношение прочностей на растяжение при изгибе и при сжатии косвенно характеризует упругие свойства бетона. Для обычных дорожных бетонов $R_{рн}/R_{сж} = 1/6...1/9$, для мелкозернистых $R_{рн}/R_{сж} = 1/5...1/7$.

Прочность бетона зависит, в основном, от активности цемента и водоцементного отношения и выражается формулой

$$R_{сж} = AR_{ц} \cdot \left(\frac{C}{B} \pm C \right), \text{ МПа}, \quad (5.1)$$

где $R_{сж}$ – предел прочности бетона при сжатии, МПа;

$R_{ц}$ – активность цемента или его предел прочности при сжатии, МПа;

A – коэффициент, зависящий от качества применяемых материалов, для высококачественных $A = 0,65$; для обычных $A = 0,60$; для низкокачественных $A = 0,55$;

C – расход цемента на 1 м^3 бетона, кг;

B – расход воды, л;

C – коэффициент, зависящий от водоцементного отношения, принимается равным $(-0,5)$ при $B/C > 0,4$ и $(+0,5)$ – при $B/C \leq 0,4$.

Предел прочности бетона при растяжении для оптимальных составов может быть определен из выражения

$$R_{\text{пр}} = C_p \sqrt[3]{R_{\text{сж}}^2}, \text{ МПа}, \quad (5.2)$$

где $C_p = 0,375$ – для бетона марки 300;

$C_p = 0,278$ – для более высоких марок.

Нарастание прочности бетона во времени происходит по логарифмическому закону

$$R_{\text{пр } n} = R_{\text{пр } 28} \cdot \frac{\lg n}{\lg 28}, \text{ МПа}, \quad (5.3)$$

где $R_{\text{пр } n}$ – предел прочности на растяжение при изгибе или при сжатии через n суток твердения бетона;

$R_{\text{пр } 28}$ – предел прочности на растяжение при изгибе или при сжатии через 28 суток с момента затвердения смеси.

Согласно ГОСТ 8472-72, для покрытий дорог (однослойных и двухслойных) применяют следующие марки бетона:

по прочности на растяжение при изгибе – $R_{\text{и}35}$, $R_{\text{и}40}$, $R_{\text{и}45}$, $R_{\text{и}50}$, $R_{\text{и}55}$;

по прочности на сжатие – $M250$, $M300$, $M350$, $M400$, $M500$.

Бетоны марок $R_{\text{и}35}$ и $M250$ применяются только для нижнего слоя двухслойных покрытий.

По морозостойкости бетоны подразделяются на: MP_3100 , MP_3150 , MP_3200 – для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий; MP_350 и MP_3100 – для нижнего слоя двухслойных покрытий.

Для необходимой морозостойкости должно выдерживаться определенное водоцементное отношение. Для однослойных и верхне-

го слоя двухслойных покрытий В/Ц должно быть не более 0,50; для нижнего слоя двухслойных покрытий – не более 0,6.

При проектировании состава цементобетона определяют следующие величины:

- 1) водоцементное отношение – из выражения (5.1);
- 2) расход воды в м³ цементобетона – по таблицам или графикам в зависимости от максимальной крупности зерен щебня или гравия и подвижности смеси, характеризуемой осадкой конуса (в см) или жесткостью (в с);
- 3) удобоукладываемость бетонной смеси – в зависимости от способа ее укладки и уплотнения, а также от вида конструкций;
- 4) расход цемента – по ранее полученным величинам с учетом выражения

$$Ц = B : \frac{B}{Ц}; \quad (5.4)$$

- 5) расход щебня – по формуле

$$Щ = \frac{1}{\frac{V_{п} \cdot a}{\rho_{щн}} + \frac{1}{\rho_{щн}}}, \quad (5.5)$$

где $V_{п}$ – пустотность щебня;

a – коэффициент, учитывающий раздвижку зерен заполнителя цементным тестом;

$\rho_{щн}$ – насыпная плотность щебня, кг/м³;

$\rho_{щн}$ – истинная плотность щебня;

- б) расход песка – по формуле

$$П = \rho_{пн} \cdot \left[1000 - \left(B + \frac{Ц}{\rho_{ци}} + \frac{Щ}{\rho_{щн}} \right) \right], \quad (5.6)$$

где $\rho_{пн}$ – истинная плотность песка, кг/м³;

$\rho_{ци}$ – истинная плотность цемента, кг/м³.

Вместе с вычислением расчетных показателей проводят лабораторные испытания, при которых определяют:

1) подвижность бетонной смеси (ГОСТ 10181.1-81), характеризуемую осадкой отформованного из нее конуса;

2) жесткость бетонной смеси, определяемую временем (в с), необходимым для расплава конуса, изготовленного из бетонной смеси, до равномерного распределения ее в цилиндрическом сосуде прибора, установленного на вибростоле, который колеблется с частотой 300 мин^{-1} и амплитудой 0,5 мм;

3) прочность бетона, заключающуюся в испытании образцов на разрушение;

4) морозостойкость бетона, т.е. способность сохранять физико-механические свойства при многократном попеременном замораживании образцов при температуре $(-18 \pm 2)^\circ\text{C}$ и их оттаивании при $(+18 \pm 2)^\circ\text{C}$;

5) истираемость бетона, характеризуемую потерями массы образца на площади 1 см^2 ;

6) объем воздуха, вовлеченного в бетонную смесь; определяется, когда для повышения морозостойкости бетона в смесь вводятся воздухововлекающие добавки;

7) расслаиваемость бетонной смеси и отделение из нее воды, характеризующие степень ее связанности при динамических воздействиях и в состоянии покоя.

Бетонные смеси, применяемые для изготовления дорожных бетонов, принято классифицировать по признаку консистенции, характеризующей их вязкость в статическом состоянии, на: литые, высокоподвижные, пластичные, малоподвижные, жесткие. Малоподвижные и жесткие смеси по вязкости напоминают сыпучие материалы, а литые, высокоподвижные и пластичные – тяжелые жидкости.

5.2.2. Требования к материалам бетонной смеси

В качестве вяжущего материала в дорожных бетонах для покрытий автомобильных дорог применяется портландцемент бездобавочный или с минеральной добавкой гранулированного доменного шлака. Марка такого цемента может быть 400 или 500, начало схватывания должно наступать не ранее чем через 2 ч после затворения. Кроме того, для цемента, используемого в смесях, укладываемых в

покрытия дорог, обязательны ограничения по содержанию в цементном клинкере трехкальциевого алюмината (не более 8%) и количеству гранулированного доменного шлака (не более 15%). Эти ограничения не относятся к цементу для дорожных оснований, т.к. для них допускается применять портландцементы с любыми минеральными добавками марок 300...500.

В качестве мелкого заполнителя для дорожного бетона используют природные и дробленые пески. При этом количество зерен крупнее 5 мм не должно превышать 10% от массы, а количество зерен крупнее 10 мм – 0,5%. Пески с модулем крупности от 1,5 до 2,0 (мелкие пески) рекомендуется применять в бетонах для оснований, а с модулем крупности 2,2...2,5 (средние) и крупные пески – в бетонах для покрытий.

В качестве крупного заполнителя дорожных бетонов применяют щебень, получаемый при дроблении горных пород, и гравий. Наименьшая крупность щебня (гравия) составляет 5 мм, однако при использовании в качестве мелкого заполнителя мелких песков допускается 3 мм. Наибольшая крупность щебня (гравия) в дорожном бетоне применяется 40 мм. Сортировка щебня на 2...3 фракции и дозировка по фракциям обеспечивают постоянство состава цементобетона, тем самым способствуя повышению его прочности.

При выборе мелкого и крупного заполнителей для бетона необходимо принимать во внимание его петрографическую характеристику, содержащую сведения о вредных примесях, реакционноспособных породах и минералах – пирите и других сульфидах; гипсе; ангидрите и других сульфатах; магнетите, гематите и других окислах и гидрокислах железа; халцедоне, кремнии, слюде и гидрослюде, галлоидных соединениях, асбесте, нефелине и других примесях.

Улучшение свойств бетона достигается введением в бетонную смесь добавок:

пластифицирующих – концентрата сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ) в количестве 0,15...0,25% от массы цемента;

воздухововлекающих – мылонафта, абиетиновой смолы, нейтрализованной в количестве 0,02...0,03% от массы цемента;

воздухововлекающего и пластифицирующего действия – кремнийорганических полимеров (ГКЖ) в количестве 0,1...0,2% от массы цемента;

комплексных, составленных на основе вышеперечисленных.

Добавки вводят в бетонную смесь в водных растворах в процессе ее затворения. Они повышают удобоукладываемость, морозостойкость, стойкость против хлористых солей, ускоряют сроки твердения.

Вода для дорожного бетона должна удовлетворять следующим требованиям: окисляемость – не более 15 мг/л; водородный показатель – не менее 4 и не более 12,5; содержание органических поверхностно-активных веществ – не более 10 мг/л; отсутствие пленок нефтепродуктов, а также примесей, нарушающих сроки схватывания и твердения цементного теста.

5.3. Приготовление цементных смесей

5.3.1. Цементные смеси

Требуемое качество бетонной смеси обеспечивается при соблюдении требований по дозировке ее компонентов, времени и способу их перемешивания.

Составляющие бетонной смеси дозируют по массе с точностью: заполнители $\pm 2,5\%$, цемент, воду и водные растворы добавок $\pm 2\%$.

Ориентировочный расход материалов для приготовления бетонной смеси приведен в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Ориентировочный расход материалов

Категория дороги	Расход материалов				Предел прочности бетона, МПа	
	щебня, м ³	песка, м ³	цемента М500, т	воды, м ³	на рас- тяжение при из- гибе	при сжа- тии
Для однослойных покрытий						
I, II	94	41	36	20	50	400
III	94	41	34	20	45	350
Для нижнего слоя двухслойного покрытия						
I, II	94	41	32	20	40	300
III	94	41	30	20	35	250

На дорогах III технической категории для сооружения нижнего слоя двухслойного покрытия допускается применение цемента марки 400.

Цементобетонную смесь для устройства дорожных покрытий можно приготовить тремя способами:

- 1) на цементобетонных заводах;
- 2) непосредственно у места укладки;
- 3) перемешиванием в автосмесителе во время транспортировки от завода сухой смеси к месту укладки.

Наиболее сложной задачей получения высококачественной бетонной смеси является учет влажности заполнителей в момент их подачи в мешалку.

Рабочий состав бетона устанавливается лабораторией бетонного завода на основании номинального состава бетона без учета влажности заполнителей и воды, содержащейся в рабочих растворах химических добавок поверхностно-активных и других веществ. Если в номинальном составе бетона Ц, П, Ш, В – соответственно расход цемента, песка, крупного заполнителя (щебня или гравия) и воды на 1 м^3 бетона, то в рабочем составе с учетом влажности песка и крупного заполнителя ($W_{\text{п}}$ и $W_{\text{ш}}$, %), а также воды, содержащейся в рабочих растворах химических добавок ($B_{\text{д}}$, кг на 1 м^3 бетона), эти расходы составляют:

$$\begin{cases} C_{\text{р}} = C; \\ P_{\text{р}} = P + \frac{W_{\text{п}} \cdot P}{100}; \\ Ш_{\text{р}} = Ш + \frac{W_{\text{ш}} \cdot Ш}{100}; \\ B_{\text{р}} = B - \left(\frac{W_{\text{п}} \cdot P}{100} + \frac{W_{\text{ш}} \cdot Ш}{100} \right) - B_{\text{д}}. \end{cases} \quad (5.7)$$

Выданный лабораторией рабочий состав бетона должен корректироваться в тех случаях, когда изменяется влажность заполнителей более чем на 1% или концентрация рабочих растворов химических добавок.

Помимо точного дозирования, к основным технологическим операциям относится установление времени перемешивания компонентов бетонной смеси, зависящее от типа применяемой бетономешалки, зернового состава смеси, вида вводимых в смесь добавок (пластифицирующих, воздухововлекающих), заданной подвижности бетонной смеси.

Продолжительность перемешивания бетонной смеси в зависимости от емкости бетономесителя циклического действия представлена в табл. 5.2.

Т а б л и ц а 5.2

Время перемешивания бетонной смеси

Операция	Емкость бетономесителя циклического действия		
	до 300	800	1000
Продолжительность перемешивания для смесей с плотностью более 2200 кг/м ³ , с	60 (45)	120 (90)	150 (120)

Продолжительность перемешивания указана для смесей с осадкой конуса 20...60 мм, в скобках – более 60 мм [10].

5.3.2. Заводы для приготовления цементобетонных смесей

При строительстве применяют две компоновочные схемы цементобетонных заводов (ЦБЗ):

1) с приготовлением сухой смеси путем дозирования заполнителей на базисном складе или на заводе сухой смеси и транспортированием ее на место укладки (в данном случае дальность возки не ограничена);

2) с приготовлением готовой цементобетонной смеси на специальных заводах со стационарным, полустационарным или передвижным комплектом оборудования, расположенным вместе или отдельно от основной базы хранения дорожно-строительных материалов и транспортированием готовой цементобетонной смеси к месту укладки в автомобилях-самосвалах или в специальных автомобилях-бетоновозах на расстояние 10...12 км.

Цементобетонный завод включает несколько технологических узлов и агрегатов:

- 1) агрегат питания с предварительным дозированием заполнителей;
- 2) смесительный агрегат с установками для дозирования всех компонентов смеси, их перемешивания и выгрузки в транспортные средства;
- 3) механизированный склад цемента;
- 4) склад заполнителей;
- 5) насосную установку для водоснабжения;
- 6) энергетический узел;
- 7) котельную и компрессорную установки;
- 8) склад топлива и смазочных материалов;
- 9) лабораторию;
- 10) ремонтную мастерскую.

По технологическому режиму заводы бывают периодического и непрерывного действия. На заводах *периодического действия* отдельные операции (дозирование, перемешивание, выдача готовой смеси) последовательно сменяют друг друга, *непрерывного действия* – все основные операции выполняются одновременно.

По способу компоновки технологического оборудования различают заводы, скомпонованные *по горизонтальной (партерной) и по вертикальной (башенной) схемам*.

При размещении ЦБЗ учитывают климатические и существующие дорожные условия, руководствуясь допустимой продолжительностью транспортирования готовой бетонной смеси. При температурах воздуха до 20°C продолжительность перевозки смеси должна быть не более 60 мин, при +20...+30°C – не более 30 мин.

Основным агрегатом цементобетонных заводов является *смесительное оборудование*, состоящее из бетономешалки и дозирочных устройств.

Бетоносмесители классифицируют по: характеру работы (непрерывного и циклического действия); принципу перемешивания (свободного падения, принудительного действия, комбинированные); типу перемешивающего устройства (роторные, планетарно-роторные, турбулентные, прямоточные, противоточные, вибрационные); направлению загрузки и разгрузки компонентов (одно- и двухсторонние); способу разгрузки (опрокидывающиеся, с разгрузочным лотком, реверсивные с донной выгрузкой, наклоняющиеся); мо-

бильности (стационарные, передвижные, перебазированные, автобетоносмесители).

Производительность бетономешалки циклического действия определяют из выражения

$$\Pi_{\text{ц}} = \frac{3,6 \cdot V \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{б}}}{t_1 + t_2 + t_3}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.8)$$

где V – объем барабана бетономешалки по сухому замесу, л;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент использования бетономешалки во времени, 0,9...0,95;

$K_{\text{б}}$ – коэффициент выхода бетона, 0,67...0,72;

t_1 – время загрузки барабана (из накопительного бункера под дозаторами – 10...15 с; из ковшового приемника – 15...20 с);

t_2 – время перемешивания (ориентировочно при $V = 1200$ л $t_2 = 120$ с, при $V = 2400$ л $t_2 = 150$ с);

t_3 – время выгрузки смеси (из наклоняющихся барабанов – 10...20 с, при разгрузке через лоток – 15...30 с).

Производительность бетономешалки непрерывного действия с принудительным перемешиванием определяют из выражения

$$\Pi_{\text{н}} = \frac{60 \cdot \beta \cdot F \cdot L}{t}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.9)$$

где β – коэффициент заполнения мешалки (1,2...1,5);

F – площадь поперечного сечения потока материалов в мешалке, м^2 ;

L – длина мешалки, м;

t – продолжительность перемешивания, зависящая от крупности заполнителя и окружной скорости лопастных валов по концам лопаток; для крупнозернистых смесей при окружной скорости лопаток 1,5...1,8 м/с $t \approx 3$ мин, при окружной скорости лопаток 2,3...2,5 м/с $t \approx 1,5$ мин.

Площадь поперечного сечения определяют по формуле

$$F = k \cdot \frac{\pi D^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (5.10)$$

где k – коэффициент заполнения мешалки, $k > 0,2 \dots 0,3$;

D – диаметр мешалки.

Компоновочные схемы бетонных заводов представлены на рис. 5.2.

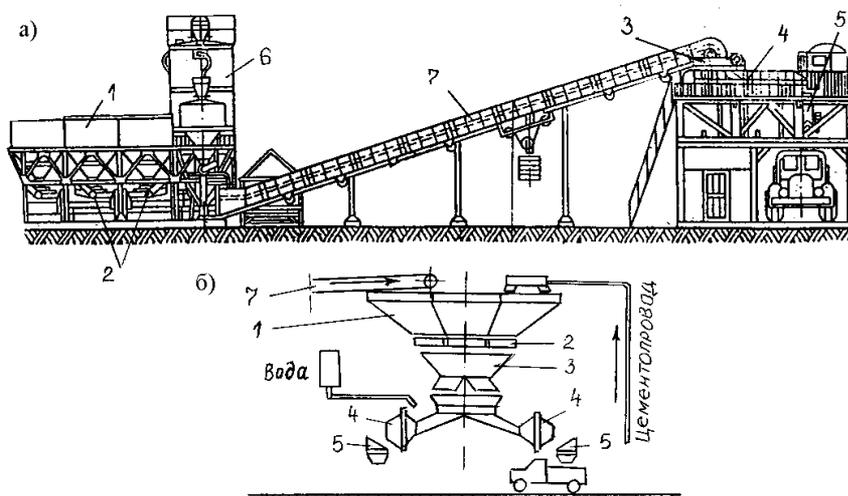


Рис. 5.2. Компоновочные схемы бетонных заводов:

а – партерная; б – башенная; 1 – бункерное отделение; 2 – дозирочное отделение; 3 – сборная воронка; 4 – смесительное отделение; 5 – выдача готовой смеси; 6 – склад цемента; 7 – транспортер

Бетоносмесительные установки башенного типа более приспособлены для утепления и позволяют получать несколько большую выработку, чем партерные, за счет сокращения затрат времени на промежуточные транспортные операции при прохождении материалом всего технологического цикла.

Большие площади цементобетонных заводов отводят под склады открытого и полужакрытого типов для хранения песка, щебня, гравия.

Цемент весьма чувствителен к влаге и в сильной степени подвержен распылению, поэтому для его хранения требуются закрытые помещения. По конструктивным признакам склады делят на амбарные, бункерные и силосные. Наиболее удобны и совершенны силосные склады цемента.

Способы выгрузки цемента из транспортных средств следующие:

- 1) с гравитационной выгрузкой – саморазгружающиеся бункерные вагоны;
- 2) с принудительной выгрузкой с помощью шнеков;
- 3) с пневматической выгрузкой с помощью сжатого воздуха на расстояние до 50 м.

Расходный склад заполнителей на притрассовом ЦБЗ целесообразно ограничивать 5...10-дневной потребностью в зависимости от производительности ЦБЗ. Вместимость расходного склада цемента в зависимости от производительности завода ориентировочно составляет:

производительность ЦБЗ, м ³ /ч –	30	60	120	240	480
вместимость расходного склада цемента, т –	120	200	300	500	800...1000

Количество автоцементовозов, требуемое для бесперебойной работы цементобетонного завода, определяется из выражения

$$n_{\text{ц}} = \frac{Q_{\text{см}}}{\Pi_{\text{ц}}}, \quad (5.11)$$

где $Q_{\text{см}}$ – сменная потребность ЦБЗ в цементе, т;

$\Pi_{\text{ц}}$ – производительность автоцементовоза, определяемая из выражения:

$$\Pi_{\text{ц}} = \frac{T \cdot 60 \cdot q \cdot k_{\text{вр}} \cdot k_{\text{гр}}}{t_3 \cdot q + \Sigma t}, \text{ Н/ч}, \quad (5.12)$$

где T – продолжительность сменной работы, ч;

q – емкость цементовоза, м;

$k_{\text{вр}}$ – коэффициент использования машины по времени, 0,85...0,9;

$k_{\text{гр}}$ – коэффициент использования грузоподъемности;

t_3 – продолжительность погрузки и разгрузки 1 т цемента, ч;

Σt – продолжительность пробега автоцементовоза, определяемая из выражения, мин:

$$\Sigma t = \frac{(L_{\text{рх}} + L_{\text{хх}})}{(v_{\text{рх}} + v_{\text{хх}})}, \text{ мин}, \quad (5.13)$$

где L_{px} – расстояние пробега груженого автоцементовоза;
 L_{xx} – то же порожнего;
 v_{px} и v_{xx} – рабочая и холостая скорости пробега, км/ч.

5.4. Устройство цементобетонных оснований и покрытий

5.4.1. Конструкции дорожных одежд с цементобетонным покрытием

Дорожная одежда с цементобетонным покрытием имеет следующие конструктивные слои:

- 1) покрытие;
- 2) выравнивающий слой;
- 3) основание;
- 4) дополнительный слой основания.

Бетонные покрытия устраиваются одинаковой толщины по всей ширине проезжей части с односкатным поперечным профилем. Они могут быть одно- и двухслойными. Двухслойные покрытия применяют с целью использования в нижнем слое менее прочных и морозоустойчивых каменных материалов.

Поперечные профили дорожных одежд с цементобетонным покрытием представлены на рис. 5.3.

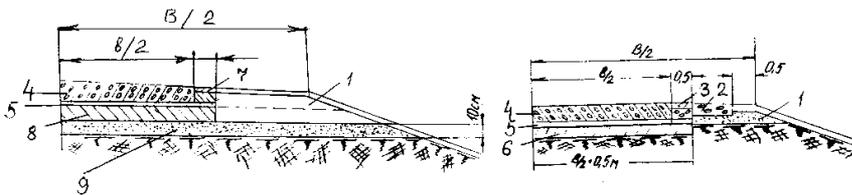


Рис. 5.3. Поперечные профили дорожных одежд с цементобетонным покрытием:

- 1 – грунт (песок) присыпной обочины; 2 – слой битумоминеральной смеси 8...10 см; 3 – плиты из белого бетона; 4 – цементобетон 20...24 см; 5 – выравнивающая прослойка; 6 – грунт, укрепленный цементом слоем 15 см; 7 – щебень с поверхностной обработкой; 8 – щебеночное (гравийное) основание 16...18 см; 9 – песчаный слой

Выравнивающий слой под бетонным покрытием служит для устранения неровностей основания. Такой слой не устраивают, если принятая технология обеспечивает высокую ровность основания из

каменных материалов и грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими I класса прочности.

5.4.2. Цементобетонное покрытие и основание из ненапряженного бетона

В практике строительства применяют две технологии сооружения цементобетонных покрытий:

- 1) в сборной опалубке с использованием рельс-форм;
- 2) в передвижной опалубке или скользящих формах.

Первая технология с использованием простых машин является традиционной и применяется при устройстве дорожных одежд с цементобетонным покрытием на дорогах III и более низких категорий. Недостаток этой технологии – высокая трудоемкость строительства. Ровность покрытия при этой технологии обеспечивается за счет точной установки рельс-форм по отметкам.

Вторая технология осуществляется с использованием высокопроизводительных машин и применяется при устройстве дорожных одежд с цементобетонным покрытием на дорогах I и II категорий. Ровность покрытия обеспечивается применением комбинированного способа укладки цементобетона. Сначала укладывают боковые бетонные полосы шириной 50 см, затем по этим полосам перемещают машины, укладывающие и уплотняющие цементобетонную смесь.

Технология устройства монолитных неармированных однослойных цементобетонных покрытий состоит из следующих операций:

- 1) подготовка основания;
- 2) установка рельс-форм или укладка боковых полос;
- 3) отделка основания, раскладка битумированной бумаги и полиэтиленовой пленки (если не применяют битумированный песок);
- 4) установка прокладок и штырей в швах коробления;
- 5) укладка и уплотнение цементобетонной смеси;
- 6) отделка поверхности цементобетона;
- 7) устройство швов;
- 8) снятие рельс-форм;
- 9) уход за твердеющим цементобетоном.

Технология устройства двухслойных покрытий включает следующие операции [10]:

1) подготовка основания; установка рельс-форм или укладка бетонных полос; отделка основания; раскладка битумированной бумаги;

2) укладка и уплотнение нижнего слоя покрытия; россыпь щебня размером 20...40 мм в количестве $1 \text{ м}^3/100 \text{ м}^2$ перед началом схватывания цементобетона; втапливание щебня в цементобетон повторным проходом уплотняющей машины (щебень необходим для создания поверхности с повышенной шероховатостью); операции по устройству швов, снятию рельс-форм и уходу за цементобетоном в течение 10...12 дней;

3) уборка материала, использованного для ухода за цементобетоном (песка); установка прокладок и штырей в швах между плитами; укладка и уплотнение цементобетонной смеси (верхнего слоя); отделка поверхности цементобетона; устройство швов; снятие рельс-форм; уход за цементобетоном.

Технология устройства покрытия при совместном уплотнении двух слоев следующая:

- 1) подготовка основания;
- 2) установка рельс-форм или укладка боковых полос;
- 3) отделка основания;
- 4) раскладка битумированной бумаги;
- 5) установка прокладок и штырей;
- 6) укладка цементобетонной смеси в нижний слой с опережением укладки верхнего слоя на 10...12 м;
- 7) укладка арматурной сетки (если она предусмотрена);
- 8) укладка цементобетонной смеси в верхний слой;
- 9) одновременное уплотнение верхнего и нижнего слоев;
- 10) отделка поверхности покрытия;
- 11) устройство швов;
- 12) снятие рельс-форм;
- 13) уход за цементобетоном.

Основания устраивают в соответствии с существующими правилами на щебеночных или гравийных слоях. Отсыпают сверху выравнивающий песчаный слой толщиной 2...4 см; если он отсыпан из необработанного битумом песка, то сверху для уменьшения смерзания покрытия и основания зимой укладывают битумированную бумагу или полиэтиленовую пленку; если он – из битумированного песка, бумагу можно не укладывать. При устройстве основания из грунтоцемента или битумогрунта вместо устройства песчаного слоя осно-

вание можно выровнять фрезерной профилировочной машиной, а срезанный материал удалить за пределы основания.

Производство работ с помощью бетоноукладочных машин, перемещаемых по рельс-формам. Рельс-формы служат одновременно направляющими для перемещения бетоноукладочных машин и опалубкой для цементобетона. Разбивку линий установки рельс-форм в плане выполняют с одной стороны с помощью теодолита, с другой – по шаблону. Установку рельс-форм по проектным отметкам выполняют с помощью нивелира. Чтобы не было осадки основания под рельс-формами, их обкатывают и замеряют отметки после обкатки (разница не должна превышать 5 мм). Разница по высоте между смежными звеньями, каждое из которых имеет длину 4 м и вес 75...80 кг, не должна превышать 2 мм. Чтобы цементобетонная смесь не прилипала к рельс-формам, их обмазывают отработавшим маслом, известковым или глинистым раствором.

Снимают рельс-формы через 18 ч после укладки бетонной смеси (или через 24 ч при температуре воздуха ниже +15°C).

После установки рельс-форм поверхность основания окончательно планируют. При проверке трехметровой рейкой просвет между ней и основанием не должен превышать 5 мм. Если песок не обработан битумом, по нему расстилают битумированную бумагу путем раскатывания рулонов с перекрытием одной полосы бумаги другой на 5...10 см (укладка бумаги опережает фронт укладки бетонной смеси на 12...18 м). После раскладки бумаги устанавливают в заданном месте прокладки и штыри для швов расширения и крепят их к основанию штырями. Штыри в швах сжатия и в продольных швах погружают в бетонную смесь после бетонирования.

Цементобетонную смесь укладывают бетонораспределительной машиной, а затем уплотняют бетоноотделочной. Бетонораспределитель имеет бункер, перемещаемый по направляющим поперек проезжей части, который загружается сбоку, со стороны обочины. Рабочими органами бетоноотделочной машины являются лопастной вал для разравнивания цементобетонной смеси, вибробрус для уплотнения смеси и отделочный брус для выглаживания поверхности бетона. При оптимальном режиме работы машины, обеспечивающем необходимые качества уплотнения бетонной смеси и ровность покрытия, перед уплотняющим вибробрусом должен образовывать-

ся равномерный валик бетонной смеси высотой 8...10 см, а перед диагональными отделяющими брусками – высотой 1...3 см.

Повышение степени уплотнения может быть достигнуто повторным вибрированием с интервалом 15...30 мин. При этом отжимаются новые порции воды из поверхностных слоев цементобетона и уничтожаются усадочные трещины.

Отделка поверхности заключается в дополнительном выравнивании, выглаживании и вторичном уплотнении верхнего слоя смеси. Обязательным условием эффективного использования бетоноотделочной машины является соответствующая вязкость смеси. Она должна быть равной 1...2 см – для осадки конуса и 20...30 см – для показателя жесткости. Применение более жестких смесей при повторных проходах не дает необходимого уплотнения.

Чтобы бетон набрал проектную прочность, необходимо в течение 4 недель обеспечить стабильную влажность и оградить покрытие от воздействия построечного транспорта. Сохранение в бетоне необходимого количества воды достигается двумя путями: постоянным увлажнением поверхности бетона или ее укрытием водонепроницаемыми материалами. При первом способе перед увлажнением на бетоне тонким слоем распределяют песок, а затем увлажняют поливочными машинами. Второй способ заключается в нанесении на поверхность свежеложенного бетона пленкообразующей жидкости, которая после затвердевания препятствует испарению влаги из бетона. В качестве пленкообразующих материалов применяют битумные эмульсии, разжиженные битумы, лаки.

Качество и срок службы цементобетонного покрытия зависят от конструкции и способов устройства швов сжатия и расширения. Существует два принципиально различных способа устройства швов:

- 1) в свежеложенном бетоне;
- 2) в затвердевшем.

При устройстве швов в свежеложенном бетоне виброножом вначале нарезают поперечные швы на глубину 6...7 см путем погружения ножа и его вибрирования в течение 10...15 с. Продольные швы нарезают вибродиском с вибратором при перемещении машины на первой передаче в продольном направлении. Сразу после извлечения ножа или вибродиска в образовавшуюся щель вставляют рейку-шаблон толщиной 8...10 мм и высотой 80...100 мм, препятствующий оплыванию свежего бетона в нарезанный паз. Извлекают шаблон че-

рез 30...40 мин и затем заглаживают грани шва. После отделки кромок шов сразу же заполняют мастикой либо прокладкой.

Швы в затвердевшем бетоне нарезают машиной, рабочим органом которой служит быстровращающийся абразивный диск (алмазный или корундовый). Нарезку начинают, когда прочность бетона достигнет 8...10 МПа. Вначале нарезают контрольные поперечные швы, располагаемые через 3...4 плиты (что обеспечивает трещиностойкость в период твердения бетона), а затем – остальные. Завершающей операцией является заполнение швов мастикой, выполняемое не ранее 7 и не позднее 30 суток после нарезки. Швы заполняют горячей мастикой с помощью механического заливщика, предварительно очистив их от пыли, песка и раствора.

Таким образом, технологическая схема устройства цементобетонного покрытия на дороге, например, III категории, с помощью бетоноукладочных машин, перемещаемых по рельс-формам, включает следующие сменные захваты (рис. 5.4):

1) планировка полос под рельс-формы и установка звеньев рельс-форм на основание;

2) устройство выравнивающего слоя из черного песка;

3) устройство бетонного покрытия (установка закладочных элементов швов), распределение и уплотнение бетонной смеси, отделка поверхности покрытия, устройство контрольных швов, разлив пленкообразующей жидкости;

4) снятие рельс-форм, нарезка пазов деформационных швов, обработка граней пленкообразующей жидкостью;

5) очистка и заполнение пазов деформационных швов мастикой;

6) устройство цементобетонного покрытия на обочинах.

Для дороги III категории ширина покрытия составляет 7 м, толщина – 20 см; основанием служит грунт, укрепленный цементом шириной 8 м и толщиной 14 см; ширина земляного полотна равна 12 м; расчетная скорость потока составляет 155 пог. м в смену.

№ захватки	I	II	III	IV	V	VI
№ рабочих операций	1, 2	3, 4	5, 6, 7	8, 9, 10	11, 12	13
Процессы	1 Планировка основания 2. Установка рельс-форм	3. Подвозка черного песка 4. Устройство выравнивающего слоя	5. Устройство бетонного покрытия 6. Устройство контрольных швов 7. Розлив пленкообразующей жидкости	8. Нарезка деформационных швов 9. Снятие рельс-форм 10. Обработка граней	11. Очистка швов 12. Заполнение деформационных швов	13. Устройство покрытия на обочинах
Машины	1. Автогрейдер 2. Передвижная электростанция 3. Автомобильный кран 4. Автомобили бортовые	5. Автомобили-самосвалы 6. Профилировщик основания	7. Распределитель бетонной смеси 8. Бетоноотделочная машина 9. Нарезчик контрольных швов 10. Машина для розлива пленкообразующего материала 11. Автомобили-самосвалы	3. Автомобильный кран 11. Нарезчики швов двухдисковые 10. Машина для розлива пленкообразующего материала	12. Заливщик швов	1. Автогрейдер 13. Укладчик полос 14. Однодисковый нарезчик швов 12. Заливщик швов 4. Автомобили-самосвалы
План потока						

Рис. 5.4. Технологическая схема устройства цементобетонного покрытия с помощью бетоноукладочных машин, перемещаемых по рельс-формам

Производство работ по устройству монолитного армированного цементобетонного покрытия в передвижной опалубке. По технологии сооружения цементобетонных покрытий в передвижной опалубке самоходные машины укладывают, распределяют и уплотняют цементобетонную смесь на ширине 3,5 или 7,5 м слоем толщиной до 24 см. Ровность покрытия обеспечивает следующая система в виде датчика, непрерывно скользящего по легкому рельсу, установленному по отметкам рядом на обочине. Вместо рельса можно использовать натянутый тросик.

Цементобетонную смесь для укладки без рельс-форм применяют с осадкой конуса до 1,5 см. При устройстве двухполосного покрытия (например, две полосы по 3,5 м) между смежными полосами устраивают шов коробления. При бетонировании второй полосы одну из ходовых гусениц бетоноукладочной машины поднимают, и она перемещается по готовой бетонной полосе.

При укладке монолитного цементобетонного покрытия в скользящих формах следует учитывать ряд особенностей:

1) допускается укладка бетонной смеси на цементогрунтовое основание с первых суток после его устройства при условии введения в цементогрунтовую смесь добавок СДБ (до 1% от массы цемента);

2) копирующие струны устанавливаются по обеим сторонам машины при отклонении от проектных отметок не более 5 мм;

3) технологический разрыв между распределителем и бетоноукладчиком не должен превышать 10...30 м;

4) для обеспечения высокого качества покрытия бетоноукладчик должен перемещаться с постоянной скоростью;

5) незначительные неровности и дефекты ликвидируются с помощью трубного финишера не позднее 20 мин после уплотнения, а в жаркую погоду – не позднее 10 мин, за несколько проходов (в среднем – за три);

6) настройка рабочих органов бетоноукладчика имеет ряд особенностей.

При устройстве монолитного армированного цементобетонного покрытия на дороге I категории состав работ на сменных захватках следующий (рис. 5.5):

№ захватки	I	II	III	IV	V	VI
№ рабочих операций	1, 2	2, 3	4, 5, 6, 7	8	9	10
Процессы	1. Установка копирных струн 2. Чистовая профилировка основания 3. Устройство разделительной прослойки	4. Устройство армобетонного покрытия 5. Устройство шероховатой поверхности 6. Нарезка контрольных швов 7. Распределение пленкообразующего материала	8. Нарезка деформационных швов	9. Заполнение деформационных швов мастикой	13. Устройство покрытия на обочинах	
Машины	1. Автомобили бортовые 2. Комплект струн 3. Нивелир	4. Профилировщик основания 5. Пневмокаток 6. Автомобиль-самосвал	7. Распределитель бетонной смеси 8. Арматурная тележка 9. Погрузатель арматуры 10. Бетоноукладчик 11. Бетоноотделочная машина 12. Нарезчик контрольных швов 13. Машина для розлива пленкообразующего материала 11. Автомобили-самосвалы	14. Нарезчики поперечных швов 15. Нарезчик продольных швов	16. Заливщик швов	17. Автогрейдер 18. Укладчик полов 19. Однодисковый нарезчик швов 20. Заливщик швов
План потока						

Рис. 5.5. Технологическая схема устройства цементобетонного покрытия в передвижной опалубке

- 1) установка копирных струн;
- 2) чистовая профилировка основания и устройство разделительной прослойки из пленкообразующего материала;
- 3) устройство армобетонного покрытия (распределение бетонной смеси, раскладка арматурных сеток, втапливание сеток в слой смеси, уплотнение бетонной смеси и формирование покрытия, отделка поверхности покрытия, создание шероховатости, нарезка контрольных швов, распределение пленкообразующей жидкости);
- 4) нарезка пазов деформационных швов;
- 5) заполнение пазов швов мастикой;
- 6) устройство цементобетонных покрытий на обочинах.

Для дороги I категории ширина покрытия составляет $2 \times 7,5$ м, толщина – 24 см; основанием служит грунт, укрепленный цементом шириной $2 \times 9,6$ м и толщиной 16 см; земляное полотно устраивается шириной 27,5 м; расчетная скорость потока составляет 700 м в смену.

Преимущество армированных цементобетонных покрытий заключается в том, что они лучше работают на растяжение и в меньшей степени подвержены трещинообразованию.

Для армирования применяется сварная сетка из проволоки диаметром 5...6 мм с расходом металла 3...4 кг/м², а также стальные стержни периодического профиля диаметром 12...14 мм.

5.5. Выполнение цементобетонных работ при пониженных температурах

Вышеописанные методы устройства цементобетонных покрытий применимы при температуре воздуха не ниже +5°C. Однако в практике строительства могут возникать случаи, связанные с необходимостью бетонирования при температурах воздуха в пределах -1...+5°C или от -10°C и ниже.

При температуре от -1 до +5°C (теплый термос) в смесь вводят ускоритель твердения и поверхность цементобетонного покрытия укрывают слоем теплоизолирующего материала, в противном случае цементобетонная смесь замерзает, и находящаяся в порах вода, превращаясь в лед, увеличивается в объеме и нарушает сцепление внутри цементного камня. В качестве ускорителя твердения применяется хлористый кальций – до 3% от веса цемента (эта добавка одновременно снижает температуру замерзания воды примерно до

-4°C). В качестве теплоизолирующего материала применяют песок толщиной 5...6 см или шлак толщиной 3...4 см.

Если температура воздуха опускается до -10°C (технология холодного бетонирования), то кроме введения в цементобетонную смесь ускорителя твердения необходимо подогревать воду (до +70...80°C) или заполнители; необходимо также добавлять мылонафт. На поверхности цементобетонного покрытия отсыпают более толстый теплоизолирующий слой.

При бетонировании в условиях низких температур (ниже -10°C) (холодный термос) вводят ускорители твердения в виде комбинированной добавки из 4% хлористого кальция и 3...4% хлористого натрия, воду подогревают до +50...60°C, песок и щебень – до +10...15°C. Толщину слоя укрытия назначают из условия, что свежеуложенный цементобетон должен сохранять температуру выше 0°C не менее суток при температуре до -10°C и двух суток – при более низких температурах.

Транспортируют цементобетонную смесь в утепленных кузовах автомобилей-самосвалов с утепленной крышкой.

Укладывать смесь необходимо на незамерзшее основание, для чего непосредственно перед укладкой устраивают основание из щебня, гравия, шлака, а выравнивающий слой отсыпают из горячего песка. Если основание построено заблаговременно, его отсыпают на толщину, превышающую нормативные отметки не менее чем на 10 см. Перед укладкой этот слой снимают и используют при утеплении покрытия.

Укладывают и уплотняют бетон при пониженных температурах в более ускоренном режиме. Перед отсыпкой теплоизолирующего материала на цементобетон расстилают битумированную бумагу, пергамент или полиэтиленовую пленку.

Кроме описанных мероприятий применяют холодный цементобетон, содержащий повышенное количество солей, которое не должно превышать 15...16% от веса цемента. Холодный цементобетон можно укладывать при температуре до -15°C. Температура цементобетонной смеси при выходе из бетоносмесителя не должна превышать +5°C, а при укладке – снижаться ниже -10°C. Продолжительность перемешивания смеси увеличивают в 1,5...2 раза.

Транспортировать смесь можно в неутепленных кузовах автомобилей. После укладки и отделки поверхности цементобетон укры-

вают перганином, бумагой и сверху засыпают слоем песка толщиной до 10 см.

5.6. Сборные покрытия из бетонных плит

Дорожные покрытия из сборных плит имеют некоторые отличительные особенности от монолитных покрытий:

1) плиты изготавливаются в производственных условиях круглый год, что позволяет соблюдать необходимые требования к процессу твердения, а следовательно, получать более качественную продукцию;

2) процесс строительства дорожного покрытия заключается в сборке готовых элементов, их фиксации по стыкам и омоноличивании швов, что позволяет вести строительство, невзирая на погодные условия и сезоны года;

3) отпадает необходимость в строительстве полевых цементобетонных заводов, складов и других сооружений;

4) по покрытиям из сборных плит можно открывать движение сразу после их укладки;

5) невозможно обеспечить требуемую ровность покрытия из-за большого количества швов;

6) требуется повышенный расход арматуры.

В связи с этим сборные покрытия устраивают на временных автомобильных дорогах; на подъездах и внутренних путях карьеров, рудников, лесо- и торфоразработок; на участках с неблагоприятными гидрогеологическими условиями на площадках различного назначения.

Плиты сборных покрытий изготавливают размером от 1 до 12 м², толщиной 12...18 см со сплошной и решетчатой опорной поверхностью и расходом арматуры 3...16 кг/м². Обычно изготавливают плиты размером 2 × 4 и 2 × 6 м.

Конструкция дорожной одежды со сборным покрытием состоит из бетонных плит, выравнивающего слоя и основания. В качестве оснований применяют: щебеночные или гравийные толщиной 20...22 см; грунтовые, укрепленные цементом или битумом, толщиной 18...20 см; шлаковые и из других материалов.

Выравнивающий слой служит для выравнивания смежных плит при монтаже и создании контакта между основанием и всей нижней поверхностью плиты. В качестве выравнивающего слоя применяют

пескоцементную смесь толщиной 4...5 см или песок, обработанный битумом, толщиной 3...4 см.

Сборные покрытия могут быть сплошные и колейные. Поперечные профили дорожных одежд со сборным покрытием изображены на рис. 5.6.

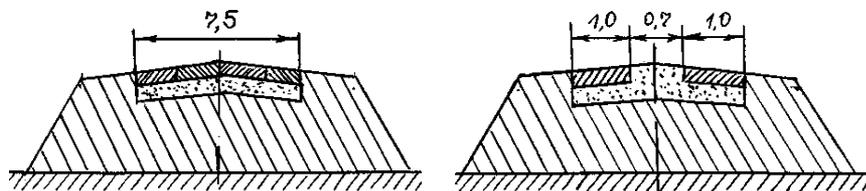


Рис. 5.6. Поперечные профили сплошного (а) и колейного (б) дорожного покрытия из бетонных плит

Сборным покрытиям придают поперечный уклон 20...30%. Продольный уклон не должен превышать 60%.

Основными технологическими процессами при строительстве сборных покрытий из готовых железобетонных плит являются: транспортировка, складирование и укладка плит, сварка и омоноличивание стыков и швов.

Доставляют плиты с полигонов железобетонных изделий или цементобетонных заводов автомобилями или трейлерами. Погрузку и разгрузку осуществляют автомобильными кранами соответствующей грузоподъемности; при этом плиты складывают в штабели, равномерно располагаемые вдоль дороги. Прогрессивным способом считается монтаж с колес.

Основание дороги строится заранее. Для большей ровности целесообразно устраивать его в рельс-формах или опалубке, установленной по отметкам.

Материал для выравнивающего слоя разгружают непосредственно на основание, разравнивают и профилируют автогрейдером; окончательное профилирование производят профилировщиком. При использовании в качестве выравнивающего слоя пескоцементной смеси (с добавкой на 1 м³ песка 170 кг цемента) следует ее изготавливать и укладывать без добавления воды. Через 8...10 часов сухая смесь начинает твердеть, конденсируя парообразную влагу из воздуха.

На подготовленный (рис. 5.7) выравнивающий слой укладывают плиты, выполнив предварительно разбивочные работы.

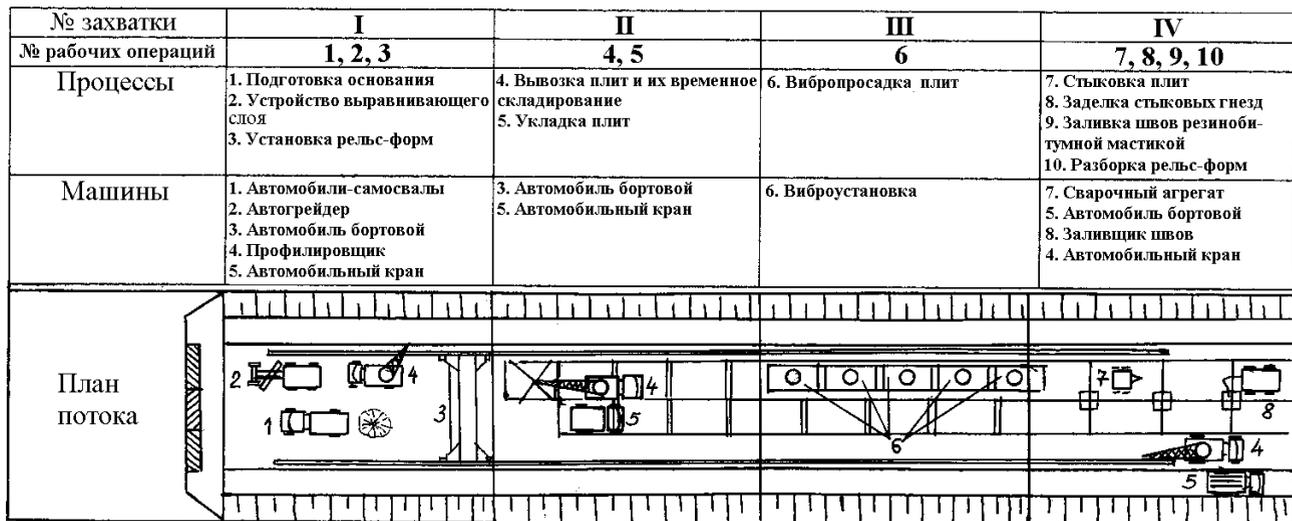


Рис. 5.7. Технологическая схема производства работ по устройству сборного покрытия из железобетонных плит

Укладка плит состоит из следующих операций:

- 1) крюки четырехплетевого захвата продевают в монтажные петли плиты;
- 2) плиту поднимают и переносят на точку укладки;
- 3) вывесив плиту над местом укладки, медленно опускают ее, корректируя при этом положение плиты;
- 4) при стыковке плит производят контроль продольного и поперечного швов с помощью ломиков-шаблонов, имеющих диаметр 15 мм;
- 5) если превышение между соседними плитами не превышает 5 мм, вынимают крюки из петель и приступают к укладке следующей плиты.

Если превышение составит более 5 мм, плиту поднимают, отводят в сторону и гладилками снимают избыток материала выравнивающего слоя, после чего плиту укладывают снова. Наиболее распространенный способ укладки – от себя (рис. 5.7).

После укладки плит на участке длиной 40...60 м производят вибропросадку плит, для чего применяют виброустановку, включающую 5 мощных виброплит, которые в течение 30...40 с обеспечивают плотный контакт плиты с основанием. После вибропросадки разность отметок смежных плит не должна превышать 3 мм.

Важным технологическим процессом является сварка стыковых соединений, перед которой сначала стыковые скобы очищают от грязи, масла и ржавчины. Если скобы расположены близко друг к другу, их сваривают одним швом, если расстояние между ними превышает 4 мм, – их сваривают через дополнительный стержень. После сварки стык заполняют бетонной смесью, а швы между плитами – битумной мастикой.

6. РЕМОНТ И СОДЕРЖАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

6.1. Технология ремонта автомобильных дорог

6.1.1. Текущий, средний и капитальный ремонт автомобильных дорог

Текущий ремонт битумных покрытий заключается в неотложных исправлениях дороги, проводимых как в планово-предупредительном порядке в течение всего года, так и по мере обнаружения

отдельных случаев повреждений. Он направлен на обеспечение сохранности геометрической формы земляного полотна, поддержание в работоспособном состоянии водоприемных, дренажных и водоотводных сооружений, обочин, полосы отвода.

При текущем ремонте гравийных и щебеночных покрытий проводят профилировку, устраняют выбоины, колеи и просадки, а также осуществляют мероприятия по обеспыливанию. Ремонтную профилировку выполняют автогрейдерами при оптимальной влажности, когда материал хорошо срезается, перемещается и уплотняется.

К основным видам текущего ремонта асфальтобетонных покрытий относится устранение повреждений в виде выбоин, трещин, отдельных волн, бугров, наплывов, обломов и неровностей кромок. При ремонте соблюдают общую технологическую последовательность, включающую подготовку поврежденного места, приготовление, укладку, разравнивание смеси, уплотнение.

В качестве ремонтных материалов служат горячие, теплые и холодные асфальтобетонные смеси, литой асфальт, щебеночные и гравийные материалы, обработанные органическими вяжущими. Горячие асфальтобетонные смеси и литой асфальт используют преимущественно на дорогах I и II категорий. Подготовку ремонтируемого места ведут в следующей последовательности:

- 1) границы выбоин оконтуривают прямыми линиями, захватывая на 3...5 см неповрежденную часть покрытия;
- 2) старый асфальтобетон удаляют;
- 3) выбоины очищают и просушивают;
- 4) дно и стенки выбоины подгрунтовывают жидким или разжиженным битумом (гудроном) или дегтем, нагретым до 60°C.

После подготовительных работ заполняют выбоину ремонтным материалом с учетом коэффициента запаса на уплотнение. Если глубина выбоин – до 5 см, смесь укладывают в один слой, более 5 см – в два слоя. Небольшие изолированные одна от другой выбоины уплотняют электро- или пневмотрамбовками, ручными пневмокатками, а значительные площади – гладковальцовыми катками массой 4...10 т. Уплотнение проводят от краев к середине, при этом поверхность ремонтируемых мест после уплотнения должна быть на уровне покрытия.

При заделке выбоин глубже 5 см, когда удаляют не только верхний, но и нижний слой асфальтобетона, порядок работы не меняет-

ся: в нижний слой укладывают крупнозернистую смесь и уплотняют, а затем в верхний слой – мелко- и среднезернистую смесь – и уплотняют. Если выбоина имеет глубину до 8 см и отсутствует крупнозернистая смесь, в два слоя укладывают среднезернистую. Мелкозернистую или песчаную смесь используют только для верхнего слоя. Отличительная особенность литых асфальтобетонных смесей – в том, что их укладывают в текучем состоянии, благодаря чему они легко заполняют выбоины и не требуют уплотнения. При ремонте литой щебеночной асфальтобетонной смесью толщина укладываемого слоя должна быть не менее 2 см, песчаной – не менее 1,5 см и не более 3 см. Если выбоина – глубже 5 см, на дно укладывают слой щебня фракции 20...40 мм, затем заполняют литой песчаной смесью с использованием горелок инфракрасного излучения. Выбоину, очистив от пыли и грязи, разогревают до 140...170°С, раскирковывают разогретые кромки на глубину 1...2 см, дно выбоины взрыхляют, а раскиркованный материал распределяют по нему и, добавив необходимое количество новой смеси, уплотняют ее до требуемой плотности.

Наплывы, волны и сдвиги на покрытии устраняют способом ямочного ремонта или срезают ножом автогрейдера с последующей поверхностной обработкой.

Трещины в покрытии заделывают, когда они раскрыты, – в сухую и теплую погоду при температуре не ниже 5°С. Трещины шириной 5 мм и более заделывают мастикой, а мелкие заливают битумом и присыпают каменной мелочью. Отдельные трещины шириной более 5 мм заделывают следующим образом:

- 1) очищают от пыли и грязи сжатым воздухом, щеткой или металлическими крючьями;
- 2) смачивают органическим растворителем (соляровым маслом, керосином);
- 3) заделывают битумной мастикой.

Текущий ремонт цементобетонных покрытий включает ремонт швов и трещин, заделку повреждений кромок швов, граней плит и отдельных раковин, ликвидацию местных просадок, вспучивание плит, заделку отдельных участков с шелушением поверхностного слоя бетона.

При текущем ремонте трещины предварительно разделяют пальцевыми фрезами, очищают; затем заливают мелкие трещины

шириной до 5 мм жидким битумом (дегтем), нагретым до рабочей температуры; поверхность трещин, заполненных вяжущими, присыпают песком; швы и трещины от 5 до 25 мм заполняют преимущественно мастиками, в том числе резинобитумными.

Раковины, выбоины, очаги поверхностного разрушения заделывают цементно- и полимербетонными смесями, а также смесями на жидком промышленном стекле.

Быстротвердеющие бетоны, приготовленные с использованием пульпы гипохлорита кальция, можно применять при срочном ремонте в осенний и весенний периоды при температуре воздуха +5°C. Бетонную смесь укладывают с запасом на уплотнение 2...3 см.

Срочный ремонт сколов кромок и углов плит, раковин и выбоин можно выполнить с помощью быстротвердеющих мелкозернистых (песчаных) бетонов на промышленном жидком стекле, состав которых, % по массе:

- 1) натриевое жидкое стекло плотностью 1,38 г/см³ – 13;
- 2) феррохромовый шлак саморассыпающийся – 4...6;
- 3) гранулированный доменный тонкомолотый шлак с удельной поверхностью 2500...3000 см²/г – 20...22;
- 4) песок (с модулем крупности более 2) – 59...63.

Эффективны также полимербетонные смеси на основе эпоксидного вяжущего.

При *среднем ремонте* периодически возмещают слой износа дорожного покрытия и улучшают транспортно-эксплуатационные качества дороги и дорожных сооружений – ровность и сцепные свойства. При таком ремонте земляного полотна восстанавливают деформированные и разрушенные элементы поверхностного водотока, системы дренажей, обочины, подпорные стенки и откосы, притрассовые резервы.

На гравийных и щебеночных покрытиях проводят сплошную ремонтную профилировку с добавлением нового материала до 500 м³ на 1 км дороги и обработку верхнего слоя органическими или обеспыливающими материалами методом смешения на дороге.

На покрытиях, содержащих органические вяжущие (в том числе асфальтобетонные), устраивают одиночную или двойную поверхностную обработку или укладывают тонкий слой из асфальтобетонных и подобных им смесей.

К среднему ремонту асфальтобетонных покрытий относят работы по восстановлению сплошности и ровности верхнего слоя с применением технологии термопрофилирования, основанной на принципе регенерации (восстановления утраченных свойств).

Средний ремонт цементобетонных покрытий заключается, главным образом, в устройстве двойной поверхностной обработки. Для этой обработки применяют щебень фракций 10...15, 15...20, 20...25 мм. Для розлива применяют битумы марок БНД 130/200, БНД 90/130 или битумные эмульсии. Вяжущее (битум БНД 90/130 при 140...160°С, БНД 130/200 при 100...120°С) нагревают до температуры, обеспечивающей прилипание к минеральному материалу и сохранение хороших вяжущих свойств.

Регенерация осуществляется с помощью термопрофилировщика, состоящего из двух совместно работающих агрегатов – разогревателя и профилировщика. Регенерацию выполняют различными способами термопрофилирования, основными операциями которых являются: разогрев покрытия, рыхление его на глубину 2...5 см, планирование разрыхленной смеси, уплотнение. Способы термопрофилирования имеют разновидности: термопланирование, термогомогенизация, термоукладка, термосмешение.

Термопланирование предусматривает разравнивание разогретого покрытия без добавления новой смеси с последующим уплотнением.

Термогомогенизация отличается тем, что, кроме основных операций, предусматривает и регенерацию асфальтобетона путем перемешивания старой асфальтобетонной смеси. При этом повышается однородность асфальтобетона и улучшается уплотняемость.

Термоукладка предусматривает нагревание существующего покрытия, разрыхление его на глубину 25...30 мм и выравнивание грейдером с последующим добавлением новой смеси в виде самостоятельного слоя над разрыхленной старой смесью без их совместного перемешивания.

Термосмешение предусматривает перемешивание новой добавляемой смеси со старой и укладку полученной смеси одним слоем. Этот способ применяется, когда покрытие содержит большое количество выбоин, волн, наплывов, а также необходимо улучшить свойства асфальтобетонной смеси верхнего слоя.

Последовательность технологических операций при термоукладке и термосмешении представлена на рис. 6.1.

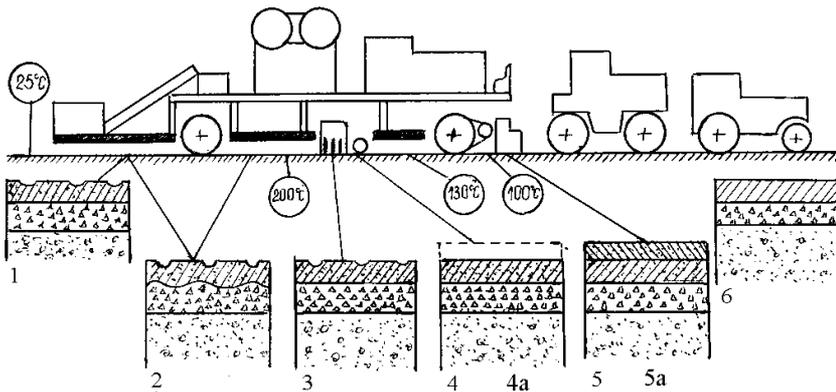


Рис. 6.1. Регенерация асфальтобетонных покрытий:

1 – покрытие до ремонта; 2 – нагрев; 3 – рыхление; 4 – разравнивание материала (термоукладка); 4а – сбор разрыхленной смеси, добавление новой смеси, перемешивание (термосмешение); 5 – добавление новой смеси, разравнивание, предварительное уплотнение (термоукладка); 5а – разравнивание, предварительное уплотнение (термосмешение); 6 – отремонтированное покрытие

Регенерация со снятием старого асфальтобетона включает следующие технологические операции:

- 1) снятие асфальтобетона без подогрева (холодное фрезерование) или с подогревом (горячее фрезерование);
- 2) доставка асфальтобетонной крошки на асфальтобетонный завод;
- 3) повторная переработка: горячее перемешивание с добавлением битума или холодное перемешивание с добавлением эмульсии;
- 4) доставка готовой смеси на объект укладки;
- 5) распределение смеси и уплотнение.

Широкое распространение получила технология «Ремикс» (Remixing), согласно которой покрытие вначале фрезеруют на глубину 15...20 мм; материал оставшегося слоя разогревают с использованием специальных нагревательных (инфракрасных) элементов; срезаемый слой старого асфальтобетона подают в смеситель и перемешивают с новой смесью в соотношении 1:1; новую смесь распределяют слоем толщиной 30...40 мм, а затем уплотняют.

При **капитальном ремонте** земляного полотна изношенные конструкции и детали заменяют более прочными и экономичными; восстанавливают и повышают его несущую способность; перестраивают пучинистые, оползневые и обвальные участки; устраивают

дренажи; изолирующие прослойки; изменяют геометрические параметры; спрямляют отдельные участки. Для уменьшения толщины слоев основания дорожной одежды создают прослойки из рулонных синтетических текстильных материалов. Места расположения прослоек показаны на рис. 6.2.

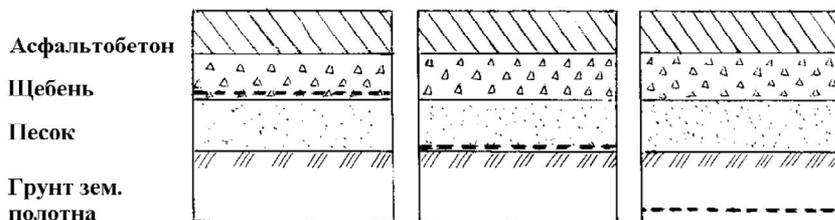


Рис. 6.2. Места расположения прослоек в дорожной одежде

Капитальный ремонт дорожных одежд предусматривает повышение их прочности с учетом роста интенсивности и изменения состава потока автомобилей, уширение проезжей части. Возможны 3 основных способа повышения прочности дорожной одежды:

- 1) строительство нового покрытия поверх старой дорожной одежды с учетом требуемой прочности конструкции;
- 2) замена верхнего или всех слоев покрытия с сохранением или усилением основания;
- 3) полная замена всей дорожной одежды с учетом перспективы роста интенсивности движения.

При капитальном ремонте асфальтобетонных покрытий необходимо стремиться к повторному использованию старого асфальтобетона. С этой целью применяют технологию регенерации способами термопрофилирования или ремонта со снятием старого асфальтобетона. Как правило, поверх регенируемого слоя устраивают слой износа или усиления, при котором по обнажившемуся слою укладывают обычным способом новый асфальтобетонный.

При капитальном ремонте цементобетонных покрытий осуществляется усиление новым асфальтобетонным или цементобетонным слоем. Применение асфальтобетонных смесей менее трудоемко в строительстве, покрытие в дальнейшем легко ремонтируется. Во избежание растрескивания асфальтобетонное покрытие должно со-

стоять из нескольких слоев и иметь общую толщину 9...18 см. Усиление новым цементобетонным покрытием позволяет сохранить старую дорожную одежду, однако этот ремонт более трудоемок.

Второй способ капитального ремонта цементобетонных покрытий заключается в замене покрытия и сохранении основания. Для удаления старого цементобетонного покрытия используют автобетоноломы, например, Импактор-2000 фирмы Ingесо.

Наряду со строительством и ремонтом покрытий при необходимости может выполняться их реконструкция. **Реконструкция дороги** – это комплекс строительных работ на существующей дороге, выполняемых с целью улучшения транспортно-эксплуатационных качеств, повышения безопасности и удобства движения, перевода дороги в целом или отдельных ее участков в более высокую техническую категорию.

6.1.2. Ремонт искусственных сооружений

Текущий ремонт железобетонных мостов включает работы по предупреждению неисправностей и устранению их в начальный период развития. В их состав входят: замена одиночных дефектных болтов; окраска элементов; расшивка швов и заделка трещин; частичная замена элементов мостового полотна; ремонт перил и ограждающих устройств; устранение просадок на подходах к мосту; ремонт водоотводных устройств и др.

Капитальный ремонт искусственных сооружений включает в себя крупные работы по замене отдельных изношенных частей и элементов, переустройству или усилению сооружений, продлевающие срок их службы. В состав таких работ входят: ремонт подходов, замена гидроизоляции, ремонт деформационных швов, ограждающих устройств, пролетных строений и опор, усиление пролетных строений и др.

При текущем ремонте деформационных швов вырубают наплывы, заделывают трещины и сколы, заменяют старую мастику деформационных швов.

Поврежденную гидроизоляцию проезжей части ремонтируют по всей площади или отдельными участками в зависимости от ее нарушения. Для этого снимают все слои одежды до гидроизоляции включительно, подготавливают основание с выравниванием и очи-

сткой бетона, укладывают битумную гидроизоляцию с перекрытием старого участка на 25...35 см с последующей укладкой защитного слоя. Сама гидроизоляция состоит из трех слоев битумной мастики, армированной двумя слоями стеклоткани.

При повреждении гидроизоляции водопропускных труб вскрывают насыпь над дефектным участком, заполняют швы паклей, пропитанной битумной мастикой, и перекрывают их двухслойной гидроизоляцией на ширину 25 см. Поврежденные лотки выравнивают бетоном.

При просадках покрытия, превышающих 10...15 см, вскрывают его на всем деформированном участке, планируют поверхность с выборкой недреннующего грунта. Однородный дренирующий грунт (крупнозернистый песок) укладывают слоями по 10...15 см с уплотнением. Вместо разрушенных переходных плит укладывают сборные с таким условием, чтобы они перекрывали зоны местных просадок.

При ремонте поверхности бетонных конструкций устраняют шелушение, раковины и сколы на глубину до 10 мм, восстанавливают защитный слой, разрушенный на глубину до 30 мм, а также устраняют локальные крупные раковины и сколы.

6.2. Содержание автомобильных дорог

6.2.1. Содержание дорог весной, летом и осенью

Содержание земляного полотна заключается в предупреждении, устранении или ослаблении воздействия на него природных факторов и транспортных средств. Для этого проводят систематические работы по обеспечению беспрепятственного пропуска воды по водоотводным сооружениям с прочисткой боковых водоотводных канав, вырубкой кустарника, скашиванием травы, удалением камней. Весной необходимо быстро подготовить систему водоотвода к пропуску талых вод, для чего следует очистить боковые канавы от снега автогрейдерами. Водоотводные канавы можно расчищать вручную, устраивая в снегу прорези шириной 0,7 м и глубиной до уровня грунта.

Содержание обочин и откосов включает полное удаление с них снега и льда, скашивание травы, удаление кустарника, систематическую планировку и утюжку, заравнивание ям, колеи. Учитывая, что пучины возникают вследствие накопления влаги в земляном полот-

не и неравномерного оттаивания полотна весной, ослабить процессы пучинообразования можно очисткой дороги от снега, особенно в конце зимы и начале весны. Задача состоит в том, чтобы максимально ускорить оттаивание и просыхание, в первую очередь, боковых частей земляного полотна. Первый признак пучинообразования – появление в отдельных местах на покрытии продольных и поперечных трещин, влажных пятен, – покрытие как бы потеет. Число трещин увеличивается, образуя сетку трещин. Важной мерой, предотвращающей пучинообразование, является прокапывание осушительных воронок на обочинах. Эту операцию лучше всего выполнять с помощью машины ЭД-201 с рабочим органом роторного типа, смонтированной на тракторе «Беларусь». Воронки роют с обеих сторон пучинистого участка в шахматном порядке на расстоянии 4 м одна от другой, шириной 0,2...0,3 м и глубиной, равной толщине дорожной одежды с подстилающим песчаным слоем.

Содержание полосы отвода включает:

- 1) уничтожение или скашивание сорных трав;
- 2) вырубку кустарника, растущего близко к дороге и способного вызвать снежные заносы;
- 3) уборку мусора с полосы отвода;
- 4) уход за резервами и кавальерами;
- 5) улучшение стока воды с полосы отвода с планировкой отдельных участков и приданием им необходимого уклона;
- 6) ликвидацию застоя воды в пониженных местах;
- 7) содержание тракторных путей с утюжкой, а при необходимости – профилированием их;
- 8) ликвидацию ям, рвов, колеи и прочих углублений и неровностей.

Работы по **содержанию проезжей части** заключаются в уходе за дорожной одеждой, ликвидации небольших повреждений. На грунтовых дорогах содержание проезжей части, по существу, представляет собой мероприятия по содержанию земляного полотна.

Содержание дорог с усовершенствованными покрытиями – это очистка покрытий от пыли и грязи и мойка их с помощью поливочных машин. Участки, на которых избыточное количество органического вяжущего выступает на поверхность, присыпают каменной мелочью, высевами, крупнозернистым песком. На переходных покрытиях устраивают наметание каменной мелочи на покрытие, обеспыливание водой. Весной и осенью необходимо очи-

щать покрытие от грязи, наносимой колесами с обочин и примыкающих дорог низших технических категорий, отводить воду. Гравийные покрытия выравнивают профилировкой автогрейдерами.

В состав работ по *содержанию дорожных ограждений* входит периодический осмотр ограждений и сигнальных столбиков, замена и мелкий ремонт неисправных элементов, подтягивание креплений.

К *содержанию дорожных зданий, автопавильонов* относятся: устранение небольших дефектов кровли, укрепление лестниц и перил, утепление окон и дверей, устранение повреждений центрального отопления, течи водопровода и канализации, окраска и побелка.

Мероприятия по пропуску весеннего ледохода и паводка включают:

- 1) осмотр и ремонт опор и ледорезов;
- 2) промеры дна у опор, укрепление ледорезов каменной наброской;
- 3) выявление толщины, структуры и прочности ледяного покрова;
- 4) предварительное ослабление льда, освобождение опор и ледорезов;
- 5) раскалывание ледяного покрова в ближайших водоемах;
- 6) подготовку взрывников, завоз взрывчатых веществ;
- 7) заготовку материалов для борьбы с размывами – мешков с песком, камней, хвороста;
- 8) наблюдение за проходом льда через сооружение, состоянием речного русла, колебаниями горизонта воды, скоростью течения.

6.2.2. Зимнее содержание дорог

Зимнее содержание представляет собой комплекс мероприятий, включающий защиту дорог от снежных заносов, очистку от снега, борьбу с зимней скользкостью, наледями. Чтобы создать наилучшие условия для движения автомобилей, проводят:

- 1) профилактические меры, цель которых – не допустить или максимально ослабить образование снежных и ледяных отложений (уменьшение снегозаносимости дорог, обработка покрытий химическими противогололедными веществами);
- 2) защитные меры для предотвращения доступа к дороге снега и ледяных отложений;
- 3) меры по удалению уже возникших снежных и ледяных отложений, уменьшению их воздействия на автомобильное движение.

При толщине слоя снега на покрытии от 2 до 20 мм в зависимости от его температуры и влажности условия движения становятся трудными. Грузовые автомобили могут двигаться, если толщина рыхлого снега – от 80 до 120 мм. При толщине рыхлого снега 2...5 мм или наличии уплотненного слоя нормальные условия для движения создаются только на подъемах в 10...30%.

Высший уровень зимнего содержания – это обеспечение чистой сухой поверхности, когда слой снега на покрытии во время метелей и снегопадов не превышает 5 мм, а срок его удаления не превышает 1 часа после окончания снегопада. По уровню зимнего содержания все дороги делят на три группы:

- 1) чистые на всю ширину проезжей части;
- 2) с чистой серединой проезжей части;
- 3) с уплотненным снегом на проезжей части.

При спокойных снегопадах на дорогах образуются сравнительно равномерные отложения небольшой плотности ($0,07...0,15 \text{ г/см}^3$) и малой толщины (в большинстве случаев – от 10 до 50 мм, реже – от 60 до 150 мм).

При метелях на дорожном полотне образуются заносы – отложения снега, принесенного ветром, существенным отличием которых является большая толщина и плотность, затрудняющие их удаление. Плотность заносов значительная – от $0,20$ до $0,35 \text{ г/см}^3$ и более. В нулевых отметках снежные заносы бывают толщиной $0,6...1,0 \text{ м}$. В выемках они могут достигать $5...6 \text{ м}$.

Главные причины снежных заносов – это снижение скорости ветра, повышенная шероховатость и наличие микронеровностей.

Главными мерами, обеспечивающими незаносимость насыпей, являются подъем земляного полотна до незаносимой отметки и придание поперечному профилю дороги обтекаемого для снеговетрового потока очертания. Высота незаносимой насыпи определяется из выражения

$$H_n = H_n + \Delta H,$$

где H_n – расчетная высота снежного покрова с вероятностью превышения 5 %, м;

ΔH – возвышение над снежным покровом, обеспечивающее незаносимость насыпи, м, зависит от ширины земляного полотна.

Ширина земляного полотна, м –	28	15	12	10	8
ΔH , м –	1,2	0,7	0,6	0,5	0,4

Для уменьшения снеготранспорта выемок рекомендуются следующие меры:

1) в выемках глубиной до 1 м устраивать более пологие уклоны от 1 : 5 до 1 : 10;

2) в выемках глубиной от 1 до 5 м с крутыми откосами устраивать дополнительные полки шириной не менее 4 м для проезда роторных снегоочистителей (в выемках глубже 5 м дополнительные полки не требуются).

Для защиты дорог от снежных заносов применяют снегозадерживающие устройства и высаживают снегозащитные насаждения, которые работают по принципу ослабления скорости ветра и осадения снеговой массы на определенном расстоянии от дороги. К снегозадерживающим устройствам относятся переносные щиты, снегозадерживающие заборы, снегозащитные устройства из снега или местных материалов. Расстояние установки от дороги одиночных щитовых линий назначают с учетом объема снегоприноса: оно составляет 30...60 м. Максимальное удаление одиночных щитовых линий не должно превышать 100 м.

Снегозащитные насаждения должны удовлетворять следующим требованиям:

1) соответствие их конструкции и размещения объему приносимого к дороге снега;

2) достаточное расстояние от посадок до дороги, чтобы снежный шлейф не мог выйти на нее.

Насаждения для защиты автомобильных дорог от снежных заносов создают в виде живых изгородей или лесных полос.

Л и т е р а т у р а

1. Проектирование автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника / Под ред. Г.А.Федотова. – М.: Транспорт, 1989. – 437 с.
2. Н е ч и п о р е н к о Л. А. Условия залегания и тектоническая предопределенность антропогенного покрова Белоруссии. – Мн.: Наука и техника, 1989. – 114 с.
3. Л е о н о в и ч И. И., В ы р к о Н. П., Л ы щ и к П. А. Формулы и зависимости для решения дорожных и транспортных задач. – Мн.: Выш. школа, 1974. – 479 с.
4. Л е о н о в и ч И. И. Автомобильные лесовозные дороги. – Мн.: Выш. школа, 1965. – 395 с.
5. В е й ц м а н М. И. и др. Дорожная терминология. – М: Транспорт, 1985. – 310 с.
6. Л е о н о в и ч И. И. Терминологический словарь по лесным дорогам. – Мн.: Изд-во Белорусского университета, 1970. – 166 с.
7. Л е о н о в и ч И. И., В ы р к о Н. П. Механика земляного полотна. – Мн.: Наука и техника, 1975. – 232 с.
8. Б а б а с к и н Ю. Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог: Учеб. пособие. – Мн.: БГПА, 2001. – 223 с.
9. Л ь в о в и ч Ю. М., М о т ы л е в Ю. Л. Укрепление откосов земляного полотна автомобильных дорог. – М: Транспорт, 1979. – 159 с.
10. И в а н о в Н. Н. и др. Строительство автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1970. – 487 с.
11. Н е к р а с о в В. К. и др. Строительство автомобильных дорог. Т. 1. – М: Транспорт, 1980. – 416 с.
12. Б е з р у к В. М., Е л е н о в и ч А. С. Дорожные одежды из укрепленных грунтов. – М.: Выш. школа, 1969. – 330 с.
13. Инструкция по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов. – М.: Стройиздат, 1975. – 127 с.
14. Б а б а с к и н Ю. Г., П е т р а ш е в с к и й Р. И. Укрепление грунтов цементом. Метод. пособие к лаб. работам по дисц. «Специальные вопросы укрепления грунтов» для студ. спец. Т.19.03 «Строительство дорог и транспортных объектов». – Мн.: БГПА, 1998. – 57 с.

15. СТБ 943-93. Грунты. Классификация. – Мн.: Мин-во архитектуры и строительства, 1994. – 17 с.
16. Автомобильные дороги Беларуси. Энциклопедия / Под ред. А.В.Минина. – Мн.: Беларуская Энцыклапедыя, 2002. – 672 с.
17. Горелышев Н. В. и др. Материалы и изделия для строительства дорог: Справочник. – М.: Транспорт, 1986. – 288 с.
18. Рекомендации по устройству защитных слоев износа по мембранной технологии на автомобильных дорогах с жесткими дорожными одеждами (утверждены приказом Комитета по автомобильным дорогам № 25 от 24 февраля 1999 г.) – Мн.: НПО «Белавтодор-прогресс», 1999. – 20 с.
19. Леонович И. И., Стрижевский В. А., Шумчик К. Ф. Испытание дорожно-строительных материалов. – Мн.: Выш. школа, 1991. – 233 с.
20. Инструкция по строительству цементобетонных покрытий автомобильных дорог. ВСН 139-80 Минтрансстрой СССР. – М.: ВПТИТрансстрой, 1980. – 106 с.
21. Дорожные одежды с покрытиями из сборных железобетонных плит. Типовые проектные решения 503-0-42. Союздорпроект Главтранспроекта Минтрансстроя СССР. – М., 1980. – 54 с.
22. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
23. Бочин В. А. Строительство автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника. – М.: Транспорт, 1980. – 511 с.

Содержание

Введение	3
1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.	5
1.1. Классификация автомобильных дорог.	5
1.2. Обоснование строительства автомобильных дорог.	8
1.3. Геометрические элементы автомобильной дороги в поперечном профиле.	12
1.4. Элементы дороги в плане.	16
1.5. Элементы продольного профиля.	18
1.6. Виражи и серпантины.	23
1.7. Искусственные сооружения на автомобильных дорогах.	26
1.8. Земляное полотно.	29
1.9. Поверхностный и подземный дорожный водоотвод.	31
1.10. Дорожная одежда.	35
1.11. Пересечения и примыкания автомобильных дорог.	38
1.12. Инженерное обустройство автомобильных дорог.	40
2. ВОЗВЕДЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА.	43
2.1. Виды работ, выполняемые при сооружении земляного полотна.	43
2.2. Подготовительные работы при сооружении земляного полотна.	47
2.3. Грунты земляного полотна.	54
2.4. Возведение насыпей и разработка выемок.	63
2.5. Сооружение земляного полотна на косогоре и заболоченных участках.	76
2.6. Уплотнение грунта при сооружении земляного полотна.	81
2.7. Отделочные и укрепительные работы.	91
3. СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ПОКРЫТИЯМИ НИЗШИХ, ПЕРЕХОДНЫХ И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ОБЛЕГЧЕННЫХ ТИПОВ.	94
3.1. Строительство дорожных одежд из гравия и других местных материалов.	94
3.2. Устройство дорожных одежд из укрепленных грунтов.	97

3.3. Устройство щебеночных покрытий и оснований способом пропитки.	116
3.4. Устройство поверхностной обработки.	119
3.5. Добыча и переработка каменных материалов для дорожного строительства.	125
4. СТРОИТЕЛЬСТВО АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ.	131
4.1. Характеристика асфальтобетонных смесей.	131
4.2. Характеристика составляющих асфальтобетонной смеси.	137
4.3. Приготовление асфальтобетонных смесей.	141
4.4. Устройство асфальтобетонных покрытий.	147
5. СТРОИТЕЛЬСТВО ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ.	156
5.1. Характеристика цементобетонных покрытий.	156
5.2. Характеристика цементобетонных смесей.	160
5.3. Приготовление цементных смесей.	165
5.4. Устройство цементобетонных оснований и покрытий.	172
5.5. Выполнение цементобетонных работ при пониженных температурах.	181
5.6. Сборные покрытия из бетонных плит.	183
6. РЕМОНТ И СОДЕРЖАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.	186
6.1. Технология ремонта автомобильных дорог.	186
6.2. Содержание автомобильных дорог.	194
Л и т е р а т у р а.	199

Учебное издание

БАБАСКИН Юрий Георгиевич
ВЕРБИЛО Иосиф Николаевич

ТЕХНОЛОГИЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Учебное пособие
по дисциплине «Технология дорожного строительства»
для студентов специальности 1-36 11 01
«Подъемно-транспортные, строительные, дорожные
машины и оборудование»

Редактор Т.А.Палилова. Корректор М.П.Антонова
Компьютерная верстка Н.А.Школьниковой

Подписано в печать 01.09.2003.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 11,9. Уч.-изд. л. 9,3. Тираж 200. Заказ 96.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

Лицензия ЛВ №155 от 30.01.2003. 220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.