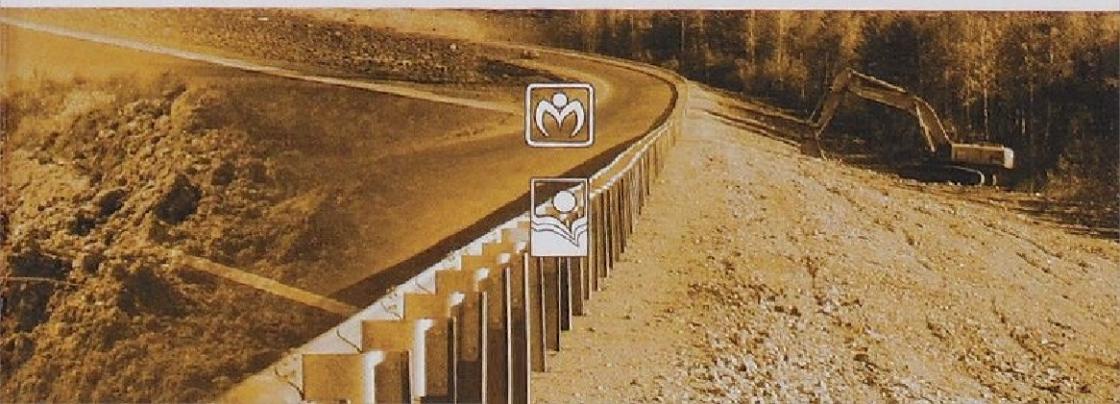


БАКАЛАВРИАТ

*Ю.Г. Бабаскин*

**СТРОИТЕЛЬСТВО  
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ – БАКАЛАВРИАТ

серия основана в 1996 г.



**Ю.Г. БАБАСКИН**

# **СТРОИТЕЛЬСТВО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*Допущено  
Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего  
образования по специальности «Автомобильные дороги»*

Минск  
«Новое знание»

Москва  
«ИНФРА-М»

2016

УДК 625.7/.8(075)  
ББК 39.311я73  
Б12

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11
----------------	---

Рецензенты:

кафедра «Лесные дороги и организация вывозки древесины» Белорусского государственного технологического университета (зав. кафедрой — кандидат технических наук, доцент *М.Т. Насковец*);  
главный научный сотрудник государственного предприятия «БелдорНИИ», доктор технических наук, профессор *В.Н. Яромко*

**Бабаскин, Ю.Г.**

Б12 Строительство земляного полотна автомобильных дорог : учеб. пособие / Ю.Г. Бабаскин. — Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2016. — 333 с. : ил. — (Высшее образование: Бакалавриат).

ISBN 978-985-475-819-0 (Новое знание).

ISBN 978-5-16-011884-0 (ИНФРА-М, print).

ISBN 978-5-16-104369-1 (ИНФРА-М, online).

Содержит основные разделы технологии строительства земляного полотна. Изложены общие сведения о земляном полотне, описаны работы, выполняемые в подготовительный период, при устройстве дренажных сооружений и водопропускных труб. Особое внимание уделено перераспределению земляных масс и выполнению основных работ по возведению насыпи и устройству выемки. Раскрыты вопросы строительства земляного полотна в сложных геологических условиях и в зимний период. Рассмотрены особенности контроля качества и организации земляных работ.

Для студентов высших учебных заведений, специализирующихся в дорожном строительстве.

**УДК 625.7/.8(075)**  
**ББК 39.311я73**

ISBN 978-985-475-819-0 (Новое знание)  
ISBN 978-5-16-011884-0 (ИНФРА-М, print)  
ISBN 978-5-16-104369-1 (ИНФРА-М, online)

© Бабаскин Ю.Г., 2016  
© ООО «Новое знание», 2016

# Оглавление

Предисловие ..... 7

**Введение** ..... 9

## **РАЗДЕЛ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ**

**Глава 1. Общие сведения о земляном полотне** ..... 16

1.1. Основные элементы земляного полотна ..... 16

1.2. Грунт как строительный материал для сооружения  
земляного полотна ..... 24

1.3. Механизация земляных работ ..... 34

**Глава 2. Теоретические основы технологии строительства  
земляного полотна** ..... 41

2.1. Условия обеспечения эксплуатационных качеств  
земляного полотна ..... 41

2.2. Элементы теории резания ..... 42

2.3. Перемешивание грунта ..... 45

2.4. Профилирование поверхности земляного полотна ..... 48

2.5. Уплотнение грунта ..... 50

## **РАЗДЕЛ II. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА**

**Глава 3. Подготовительные работы при сооружении земляного  
полотна** ..... 56

3.1. Работы, выполняемые при сооружении земляного полотна ..... 56

3.2. Внутриплощадочные работы ..... 58

3.3. Внеплощадочные работы ..... 66

3.4. Определение объемов и расчет ресурсов подготовительных  
работ ..... 67

**Глава 4. Строительство сооружений для регулирования  
водно-теплового режима земляного полотна** ..... 70

4.1. Канавы и кюветы открытого водоотвода ..... 70

4.2. Перехватывающий и подкюветный дренаж ..... 72

4.3. Дренирующие, гидроизолирующие и капилляропрерывающие  
прослойки ..... 78

<b>Глава 5. Технология строительства дорожных труб</b> .....	82
5.1. Характеристика дорожных труб .....	82
5.2. Расчет трубы.....	86
5.3. Устройство основания.....	91
5.4. Монтаж блоков трубы .....	93
5.5. Устройство оголовков.....	95
5.6. Определение объемов и расчет ресурсов при строительстве дорожных труб.....	95
<b>Глава 6. Рациональное распределение земляных масс</b> .....	98
6.1. Подготовка основания земляного полотна .....	98
6.2. Распределение земляных масс.....	99
6.3. Расчет объема карьера .....	114
<b>Глава 7. Возведение насыпей и разработка выемок</b> .....	120
7.1. Общие положения .....	120
7.2. Грейдерные работы.....	122
7.3. Бульдозерные работы.....	123
7.4. Скреперные работы.....	128
7.5. Экскаваторные работы.....	131
7.6. Транспортные работы.....	136
7.7. Расчет ресурсов для возведения земляного полотна.....	138
<b>Глава 8. Уплотнение грунта при сооружении земляного полотна</b> .....	141
8.1. Общие положения .....	141
8.2. Уплотнение грунта укаткой.....	143
8.3. Вибрационное уплотнение грунта.....	146
8.4. Уплотнение грунта трамбованием.....	148
8.5. Уплотнение грунта на откосах и в стесненных условиях .....	150
<b>Глава 9. Планировочные, отделочные работы и работы по рекультивации нарушенных земель</b> .....	153
9.1. Планировочные работы.....	153
9.2. Отделочные работы .....	158
9.3. Рекультивация нарушенных земель .....	159
9.4. Определение объемов земляных масс при рекультивации .....	162
<b>Глава 10. Укрепительные работы</b> .....	164
10.1. Укрепление обочин .....	164
10.2. Укрепление откосов.....	166

## **РАЗДЕЛ III. РЕКОНСТРУКЦИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ОСОБЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

<b>Глава 11. Перестройка земляного полотна при реконструкции и ремонте .....</b>	<b>180</b>
11.1. Понятие о реконструкции дорог .....	180
11.2. Подготовительные работы при реконструкции .....	181
11.3. Уширение насыпей и выемок.....	183
11.4. Исправление продольного профиля .....	186
11.5. Ликвидация пучинистых участков .....	187
11.6. Перестройка и удлинение водопропускных труб .....	189
<b>Глава 12. Сооружение земляного полотна на болотах .....</b>	<b>191</b>
12.1. Общие положения.....	191
12.2. Сооружение земляного полотна без выторфовывания.....	195
12.3. Сооружение земляного полотна с частичным выторфовыванием.....	203
12.4. Сооружение земляного полотна с полным выторфовыванием.....	205
<b>Глава 13. Особенности выполнения земляных работ на пересеченной местности .....</b>	<b>209</b>
13.1. Земляные работ на косогорных участках.....	209
13.2. Производство работ с применением гидромеханизации.....	212
<b>Глава 14. Сооружение земляного полотна в зимний период .....</b>	<b>217</b>
14.1. Общие положения.....	217
14.2. Подготовительные работы .....	220
14.3. Разработка выемок и возведение насыпей в зимний период ...	222
14.4. Уплотнение грунтов в зимних условиях .....	225
<b>Глава 15. Производство земляных работ в условиях повышенной влажности.....</b>	<b>228</b>
15.1. Общие положения.....	228
15.2. Применение переувлажненных грунтов при строительстве земляного полотна.....	230
<b>Глава 16. Укрепление грунтов .....</b>	<b>235</b>
16.1. Общие положения.....	235
16.2. Классификация методов укрепления грунта.....	239
16.3. Способы и технологии укрепления грунтов.....	243

## **РАЗДЕЛ IV. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ**

<b>Глава 17. Контроль качества и приемка работ .....</b>	<b>254</b>
17.1. Общие положения.....	254
17.2. Виды контроля .....	255
17.3. Статистическая обработка .....	259
17.4. Измерение показателей состава и состояния грунта при контроле качества.....	261
17.5. Организация производственного контроля.....	270
<b>Глава 18. Оценка устойчивости откосов и склонов .....</b>	<b>273</b>
18.1. Методы расчета .....	273
18.2. Оценка устойчивости откоса, сложенного из однородного грунта.....	276
18.3. Оценка устойчивости откоса, сложенного из слоев разнородных грунтов .....	279
18.4. Определение рационального очертания поверхности откоса.....	281
<b>Глава 19. Основные принципы организации и планирования земляных работ.....</b>	<b>283</b>
19.1. Общие положения.....	283
19.2. Принципы организации земляных работ.....	286
19.3. Обеспечение стабильности земляного полотна.....	289
19.4. Организация механизированных работ .....	290
19.5. Определение объемов грунта при его разработке.....	293
19.6. Построение календарного графика строительства .....	297
<b>Глава 20. Технологическая карта на возведение земляного полотна .....</b>	<b>303</b>
20.1. Общие сведения.....	303
20.2. Структура технологической карты и характеристика основных разделов.....	304
20.3. Технология производства работ согласно технологической карте .....	313
Литература .....	326

## Предисловие

Любой живой организм живет, когда по его жилам течет кровь, снабжающая все органы питательными веществами и кислородом. И не все кровеносные сосуды одинаковы, хотя выполняют одну и ту же жизненную задачу при различном функциональном назначении. Точно так любая страна развивается и существует только тогда, когда она имеет развитую сеть дорог — магистралей, республиканских, местных, являющихся кровеносными сосудами огромного организма — государства. Дорога — это жизнь, воспетая в стихах, песнях и картинах. По дорогам движутся автомобили и поезда, внутри которых находятся люди, спешащие навстречу своей любви, ожиданиям, надеждам, подвигам и разочарованиям. И часто человек, смотрящий сквозь окно на прекрасную природу, старинные и современные города, не задумывается над тем огромнейшим трудом, который был затрачен на то, чтобы построить эту красивую дорогу и сберечь ее на долгие годы. За каждым километром, мостом, путепроводом стоят люди, которые своим талантом и трудом создали и продолжают содержать в рабочем состоянии все дорожные конструкции.

Человек, начинающий свое восхождение к олимпам знаний, должен вначале получить образовательные навыки на студенческой скамье. И чтобы разобраться в премудростях проектирования и строительства автомобильных дорог, необходимо освоить азы высшей математики, прикладной физики, химии, инженерной геодезии, геологии, грунтоведения, дорожно-строительных материалов, строительных конструкций и многих других наук, которые сформируют из студента грамотного специалиста.

Дисциплина «Строительство автомобильных дорог» является стержнем образовательного комплекса, необходимого специалисту для грамотного решения инженерных задач, возникающих при проектировании, строительстве, эксплуатации и содержании автомобильных дорог. Земляное полотно и дорожная одежда — это два основных элемента, которые изучаются как самостоятельные компоненты, создающие представление о дороге как единой конструкции. Земляное полотно сооружается из грунтов, в которых взаимодействие между минеральными частицами в присутствии пленки воды подчиняется фундаментальным законам, выведенным такими гениями всемирной науки, как Р. Гук, Ш. Кулон, А. Дарси, Д. Стокс, У. Ранкин и др., поэтому знание этих законов необходимо для объяснения процессов, происходящих в грунтах под действием внешней нагрузки, при изменении температуры и содержания воды в порах. В то же время

современное развитие науки и техники вносит свои коррективы в технологии, способы, материалы, конструкции, виды машин и механизмов, применяемые при строительстве земляного полотна как самого объемного элемента дорожной конструкции. Таким образом, современная конструкция земляного полотна является симбиозом фундаментальных знаний и передовых технологий, являющихся результатом развития науки и техники.

Основной задачей автора учебного пособия является систематизированное представление всех аспектов строительного процесса земляного полотна, ознакомление студентов с элементами и конструктивными особенностями земляного сооружения, отражение технологических принципов в положениях нормативных документов по правилам проектирования и устройства земляного полотна. Таким образом, материалы, представленные в данном пособии, не являются результатом труда одного ученого или коллектива ученых. Это обобщающий труд, содержащий результаты многолетней научной деятельности и инженерной практики строительства земляного полотна автомобильных дорог, накопленные в течение длительного периода и нашедшие свое применение в современных условиях.

Автор с благодарностью относится ко всем источникам: учебным, нормативным, справочным, консультативным, докладам на научно-технических и практических конференциях, симпозиумах, круглых столах, материалы которых помогли сформулировать определения элементов, раскрыть их функциональную принадлежность и технологическую последовательность, а также познакомить с требованиями, закрепленными стандартами, нормами, указаниями, кодексами и другими документами.

Благотворное влияние на формирование мировоззрения и накопление знаний автора оказали ученые, с которыми ему приходилось встречаться, беседовать и учиться у них: В.М. Безрук, М.И. Вейцман, Н.П. Вырко, Н.В. Горельшев, Б.П. Горбунов, И.Е. Евгеньев, В.Д. Казарновский, И.И. Леонович, Т.М. Луканина, Ю.Л. Мотылев, Б.А. Ржаницын, В.Е. Соколович, В.П. Семенов, А.Я. Тулаев и др.

Автор выражает благодарность рецензентам учебного пособия: доктору технических наук, профессору В.Н. Яромко и кандидату технических наук, доценту М.Т. Насковцу — за ценные замечания по содержанию рукописи, которые были учтены при подготовке книги к изданию.

# ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Строительство автомобильных дорог» является основной профилирующей дисциплиной в учебном процессе подготовки будущих инженеров — строителей автомобильных дорог. Она изучается в течение трех семестров на третьем и четвертом курсах: раздел о строительстве земляного полотна; разделы, связанные со строительством дорожных одежд с покрытиями капитального типа; строительство дорожных одежд с покрытиями облегченного, переходного и низшего типов.

Для того чтобы начать изучать технологии, способы строительства, методы расчета, особенности компьютерного проектирования, необходимо освоить фундаментальные и прикладные науки, позволяющие применять полученные знания при изучении дисциплин, связанных со строительством автомобильных дорог. Поэтому существует предметная связь изучаемой дисциплины с математикой, химией, физикой и другими науками. Высшая математика необходима инженеру, чтобы правильно представлять закономерности, происходящие в грунтах, материалах, смесях, конструкциях, владеть вопросами математической статистики обработки экспериментальных и статистических данных, обладать навыками научных исследований по разработке матрицы планирования эксперимента и многое другое. Знание физики и химии необходимо, чтобы представлять реальную картину взаимодействия различных вяжущих с минеральными частицами, знать процессы, происходящие под действием внешней нагрузки, температуры, воды, агрессивных факторов как в сыпучей системе грунта, так и в монолитных или дискретных системах строительных материалов и конструкций.

В практике дорожного строительства работы, связанные с проектированием и строительством земляного полотна, выполняются в соответствии с разработанными техническими кодексами установившейся практики ТКП 200–2009 «Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования» и ТКП 313–2011 «Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила устройства», разработанными республиканским дочерним унитарным предприятием «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт “БелдорНИИ”». Эти документы устанавливают основные требования к нормам проектирования и производству работ по возведению

земляного полотна. Другими словами, проектировать и строить земляное полотно необходимо с учетом положений, изложенных в технических кодексах.

Данное учебное пособие написано для студентов, которых необходимо, прежде всего, познакомить с элементами земляного полотна, дренажными сооружениями, гидроизолирующими и капиллярпрерывающими прослойками, искусственными конструкциями, предназначенными для пропуска воды, механизмами и видами выполняемых ими земляных работ, особенностями проведения строительных работ на слабых грунтах и пересеченной местности и многими другими вопросами, необходимыми для понимания требований, изложенных в ТКП. По мнению автора работы, изучение элементов земляного полотна автомобильной дороги должно идти параллельно со знакомством с положениями технических кодексов, чтобы в учебном пособии студент не только узнавал, что надо делать, но и как, какие применить механизмы, как рассчитать объемы, как оценить устойчивость, как обеспечить необходимый водно-тепловой режим, какие применить грунты и что может произойти при определенных геологических и климатических условиях, изменяющих состояние грунтов. Только получив общее представление о конструкции земляного полотна и его особенностях, можно рассмотреть вопросы, связанные с повышением прочности и устойчивости всех элементов земляного полотна, организацией земляных работ, контролем качества. При выполнении курсового проекта по земляному полотну студенты руководствуются положениями ТКП.

Основным строительным материалом автомобильных дорог являются грунты, залегающие на поверхности антропогенного покрова земли. Они служат основным материалом для строительства земляного полотна, источником для получения дорожно-строительных материалов (песка, щебня, гравия, минерального порошка и множества других ингредиентов, являющихся компонентами смесей). Поэтому изучению грунтов как многокомпонентной системы, изменяющейся во времени, посвящена дисциплина «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна», а изучению свойств материалов, применяемых при строительстве дорог, — «Дорожно-строительные материалы». В грунтоведении студенты знакомятся с хронологией образования горных пород, их свойствами

и влиянием влажности и температуры на изменение этих свойств; в материаловедении — со свойствами минеральных частиц в зависимости от размеров и минералогического состава, а также свойствами вяжущих, от которых зависят свойства асфальто- и цементобетонов.

Качество автомобильной дороги зависит от многих ее компонентов, но основными являются земляное полотно и дорожная одежда. Если сравнивать их между собой по объему, стоимости материалов, срокам строительства, то можно заметить, что объем грунта в земляном полотне, как правило, намного превышает объем слоев дорожной одежды, а продолжительность возведения насыпей или устройства выемок зависит от их высоты или глубины, рельефа местности и чаще всего превышает сроки строительства дорожной одежды, а вот стоимость материалов последней превышает стоимость земляной конструкции. Поэтому качество работ при строительстве земляного полотна играет важную роль, так как от этого зависит устойчивость, прочность, долговечность автомобильной дороги в целом. И если в земляном полотне начнут возникать деформации, связанные с просадкой грунта, его набуханием, липкостью и другими отрицательными явлениями, то никакие материалы дорожной одежды не спасут конструкцию от разрушения. Следовательно, при строительстве земляного полотна необходимо владеть и правильно применять знания, полученные по начальному разделу «Строительство земляного полотна» дисциплины «Строительство автомобильных дорог», тем более что процесс строительства начинается именно с этого элемента автомобильной дороги.

Учебное пособие «Строительство земляного полотна автомобильных дорог» предназначено для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» и включает четыре раздела:

I. «Теоретические основы обеспечения эффективности и качества земляных работ»;

II. «Технология строительства земляного полотна»;

III. «Реконструкция и строительство земляного полотна в особых геологических условиях»;

IV. «Контроль качества и организация земляных работ».

В раздел «Теоретические основы обеспечения эффективности и качества земляных работ» входят две главы, отражающие общие сведения о земляном полотне и теоретические основы технологии

его строительства, которые раскрывают процессы, происходящие при резании, перемешивании, профилировании и уплотнении грунта.

Раздел «Технология строительства земляного полотна» включает темы, связанные с подготовительными работами, строительством сооружений для регулирования водно-теплого режима земляного полотна, рациональным распределением земляных масс. Центральное место в данном разделе принадлежит теме, в которой представлены земляные работы по возведению насыпей и устройству выемок; даны особенности выполнения грейдерных, бульдозерных, скреперных и экскаваторных работ; раскрыты вопросы уплотнения грунтов различной техникой и способами, а также проведения укрепительных работ на откосах и обочинах; отражены вопросы по выполнению планировочных, отделочных и рекультивационных работ.

В разделе «Реконструкция и строительство земляного полотна в особых геологических условиях» раскрыты вопросы выполнения земляных работ при реконструкции и в особых геологических условиях. Учитывая, что в настоящее время проводится большой объем работ по реконструкции автомобильных дорог, требующих изменения геометрии продольного и поперечного профилей, отдельная тема посвящена уширению земляного полотна, ликвидации пучинистости, перестройке водоотводных сооружений. В разделе изложены вопросы по проведению работ на пересеченной местности и в сложных геологических условиях. Отдельные главы посвящены вопросам проведения земляных работ в зимний период и вопросам придания грунтам повышенной прочности и устойчивости за счет обработки их вяжущими веществами.

В заключительном разделе «Контроль качества и организация земляных работ» приведен перечень мероприятий, выполняемых при входном, операционном и приемочном контроле при сооружении земляного полотна. Для правильного применения методов повышения устойчивости откосов земляного полотна рассмотрены вопросы оценки их устойчивости для различных геологических условий и гидрологического состояния насыпи. Изложены особенности организации и планирования земляных работ с построением календарного графика строительства, а также характеристика

основных разделов технологической карты по сооружению земляного полотна.

Материал по строительству земляного полотна изложен в 19 главах, причем это количество соответствует числу лекций, отведенных в типовой учебной программе для изложения теоретического курса.

Цель данного пособия — дать студентам знания о земляном полотне как конструктивном элементе автомобильной дороги, видах работ, выполняемых при строительстве земляного полотна (от подготовительных до отделочных), об определении объемов земляных работ и расчете ресурсов, конструкциях земляного полотна на болоте, пересеченной местности, при высоком уровне залегания грунтовых вод, об организации работ по возведению насыпей и устройству выемок, о мероприятиях по контролю качества строительных работ.

В результате изучения раздела «Строительство земляного полотна» общей дисциплины «Строительство автомобильных дорог» студент должен знать:

- элементы земляного полотна, грунты, применяемые для его строительства, и виды землеройных машин, занятых при возведении насыпи (устройстве выемки);
- процессы, происходящие при разработке грунтов: резание грунта, его перемешивание, профилирование и уплотнение;
- виды работ, выполняемых в подготовительном периоде, основные работы по отсыпке насыпи и разработке выемки, технологические схемы работы автогрейдеров, бульдозеров, скреперов, экскаваторов, катков, трамбующих плит и других механизмов;
- конструкции земляного полотна с дренажами, различными прослойками, на болоте, на косогоре, с дорожными трубами;
- методы расчета объемов при рациональном распределении земляных масс и отсыпке насыпей из сосредоточенных резервов;
- методы расчета устойчивости откосов и мероприятия по повышению их устойчивости;
- последовательность расчетов ресурсов и определения числа смен, необходимых для выполнения отдельных работ, количества машин и рабочих-строителей, выполняющих конкретные задания;
- виды контроля качества и требования к конструкции земляного полотна как готового элемента автомобильной дороги;

□ основные принципы организации и планирования земляных работ;

□ общие положения и характеристику основных разделов технологических карт по возведению земляного полотна.

Учебное пособие дает возможность студентам пользоваться рассмотренными темами при изучении раздела «Строительство земляного полотна» дисциплины «Строительство автомобильных дорог».

# **I**

**РАЗДЕЛ**

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ**



-  Глава 1. Общие сведения о земляном полотне
-  Глава 2. Теоретические основы технологии строительства земляного полотна



## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЯНОМ ПОЛОТНЕ



### 1.1. Основные элементы земляного полотна

**Земляное полотно** — основной элемент автомобильной дороги (рис. 1.1) — возводится из местных или привозных грунтов (земляное сооружение), имеет трапецевидную форму, опирается на естественные или техногенные грунты и служит основанием для дорожной одежды и водоотводных устройств. Земляное полотно воспринимает нагрузку от колес автомобиля, передающуюся через дорожную одежду, и вместе с нагрузкой от собственного веса распределяет на грунты естественного залегания.

**Земляное сооружение** — сооружение, выполненное из естественных или искусственных грунтов, в виде насыпи или выемки.

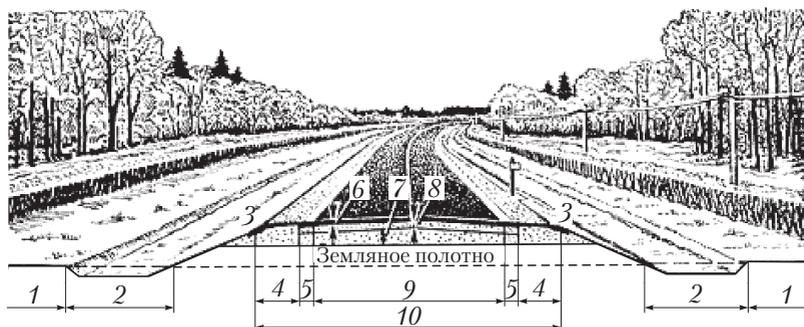


Рис. 1.1. Общий вид автомобильной дороги:

1 — обрез; 2 — резерв; 3 — откосная часть; 4 — обочина; 5 — укрепленная обочина; 6 — покрытие; 7 — основание; 8 — дополнительный слой основания; 9 — ширина проезжей части; 10 — ширина дорожного полотна

*Насыть* — искусственное земляное сооружение, состоящее из насыпного грунта и располагаемое выше отметок прилегающей земли. *Выемка* — искусственное земляное сооружение, выполненное путем срезки грунта на определенную глубину и располагаемое ниже окружающей местности.

*Дорожная одежда* — многослойная конструкция, состоящая из покрытия, основания и дополнительных слоев, которая располагается на земляном полотне, воспринимает нагрузку от колес автомобиля и перераспределяет ее на земляное полотно.

*Водоотводные устройства* — комплекс сооружений, отводящих воду от земляного полотна и дорожной одежды и предотвращающих их переувлажнение. К ним относятся кюветы, канавы, лотки, колодцы, дренажи и другие устройства.

Помимо земляных сооружений, в состав земляного полотна входят система поверхностного водоотвода (лотки, кюветы, канавы) и специальные удерживающие и поддерживающие конструкции, предназначенные для обеспечения устойчивости самого земляного полотна или склонов, на которых оно расположено

Изучив процессы, происходящие в земляном полотне под действием внешней нагрузки или среды, собственного веса и фильтрационных процессов, в нем можно выделить следующие части, имеющие особенности и работающие в специфических условиях:

□ верхняя (равная  $2/3$  глубины промерзания, но не менее 1,5 м) — *рабочий слой* (рис. 1.2). В нем напряжения между грунтовыми частицами возникают от воздействия силы, приложенной от колес автомобиля и передаваемой через дорожную одежду;

□ центральная — *ядро* насыпи. В нем напряжения от собственного веса больше, чем напряжения от внешней нагрузки, и зависят от высоты насыпи. В нулевых местах, а также в выемке эта часть может отсутствовать;

□ нижняя — контактирует с грунтами естественного залегания. В ней фильтрационные процессы зависят от вида и состояния естественных грунтов;

□ боковая — *откосы*, ограниченные поверхностью откоса и вертикальной линией, мысленно проведенной из бровки земляного полотна. Это наиболее разрушаемая часть земляного полотна, поскольку на нее воздействуют поток воды, стекающей с обочин, выпадающие осадки, а также ветровая эрозия. Влажность грунтов

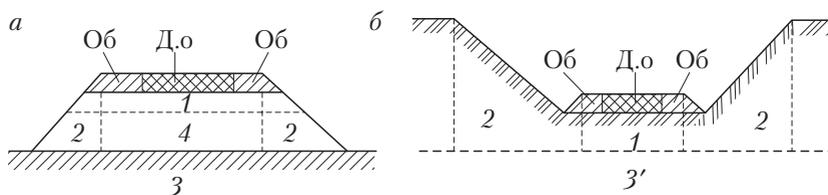


Рис. 1.2. Виды земляного полотна:

а — насыпь; б — выемка; 1 — рабочий слой земляного полотна; 2 — откосные части; 3 — основание насыпи; 3' — основание выемки; 4 — ядро насыпи; Д.о — дорожная одежда; Об — обочина

этой части зависит от погодно-климатических условий и фильтрационных свойств грунтов земляного полотна.

Таким образом, над земляным полотном располагаются дорожная одежда и обочины. Инфильтрационная вода через обочины, трещины в покрытии, разделительные полосы (на дороге категории I) может проникать в земляное полотно, переувлажняя отдельные слои, лежащие над грунтами с низким коэффициентом фильтрации. Такое состояние грунта приводит к снижению его прочности и устойчивости, к возникновению процессов набухания. Следовательно, для защиты от переувлажнения земляного полотна сверху необходимо придавать его поверхности поперечный уклон в сторону откосов, устраивать дренирующие и гидроизолирующие прослойки.

*Основание* земляного полотна в основном состоит из грунтов естественного сложения, в которых протекают фильтрационные процессы подземных вод. В зависимости от глубины их заложения, грунты основания могут иметь обычную природную влажность или быть переувлажненными. В последнем случае капиллярная вода начнет подниматься вверх, переувлажняя грунт земляного полотна, причем чем больше в грунте земляного полотна пылеватоглинистых частиц, тем больше подъем капиллярной воды, достигающий в отдельных случаях 12 м. Кроме того, в основании могут залегать слабые грунты, уплотнение которых под весом дорожной конструкции приведет к возникновению осадки всего сооружения и, как следствие, к деформации покрытия. Чтобы этого не происходило, необходимо усиливать основание, производить замену грунта, устраивать в нижней части земляного полотна дренажные или капиллярорерывающие прослойки.

Откосы разрушаются от размыва водой, а в выемке способствуют сбору воды в кюветах. Для устранения вредных последствий поверхность откосов укрепляют различными способами: от засева трав до бетонирования. Дну кюветов придают продольный уклон для отвода воды, на откосах выемки устраивают бермы, закладывают откосные, подкюветные, перехватывающие и другие дренажи.

Всё вышесказанное свидетельствует о том, что сооружение земляного полотна — это сложный технологический процесс, требующий учета геологических, гидрологических, климатических особенностей конкретного места строительства, а также знания свойств применяемых материалов, способов, конструкций дорожно-строительных машин.

Основным параметром земляного полотна является его **поперечный профиль**. В нормативных документах разработаны следующие типовые поперечные профили земляного полотна (рис. 1.3–1.5).

Ширина земляного полотна перед устройством дорожной одежды всегда больше, чем после ее устройства, т.е. у полностью построенной дороги. Это связано с тем, что земляное полотно в разрезе представляет собой трапецию, сужающуюся кверху, и поэтому при строительстве дорожной одежды ширина будет уменьшаться. Ширина дорожного полотна характеризует геометрическую величину дороги после завершения строительства, зависит от категории дороги и измеряется расстоянием между бровками (табл. 1.1).

Таблица 1.1

### Ширина дорожного полотна

Наименование параметра поперечного профиля	I-a	I-б, I-в	II	III	IV	V	VI-a	VI-б
Ширина дорожного полотна	24,5 + s 32 + s	22 + s 29 + s	13	12	10	8	6,5	4,5

*Примечание.* s — ширина барьерного ограждения, устанавливаемого на разделительной полосе.

Поскольку земляное полотно возводится из местного или привозного грунта, необходимо знать свойства грунтов и возможность их использования в качестве рабочего материала для сооружения насыпи.

Учитывая, что стоимость строительных работ в значительной степени зависит от транспортных расходов, связанных с перевозкой грунта, необходимо максимально приблизить источник разработки

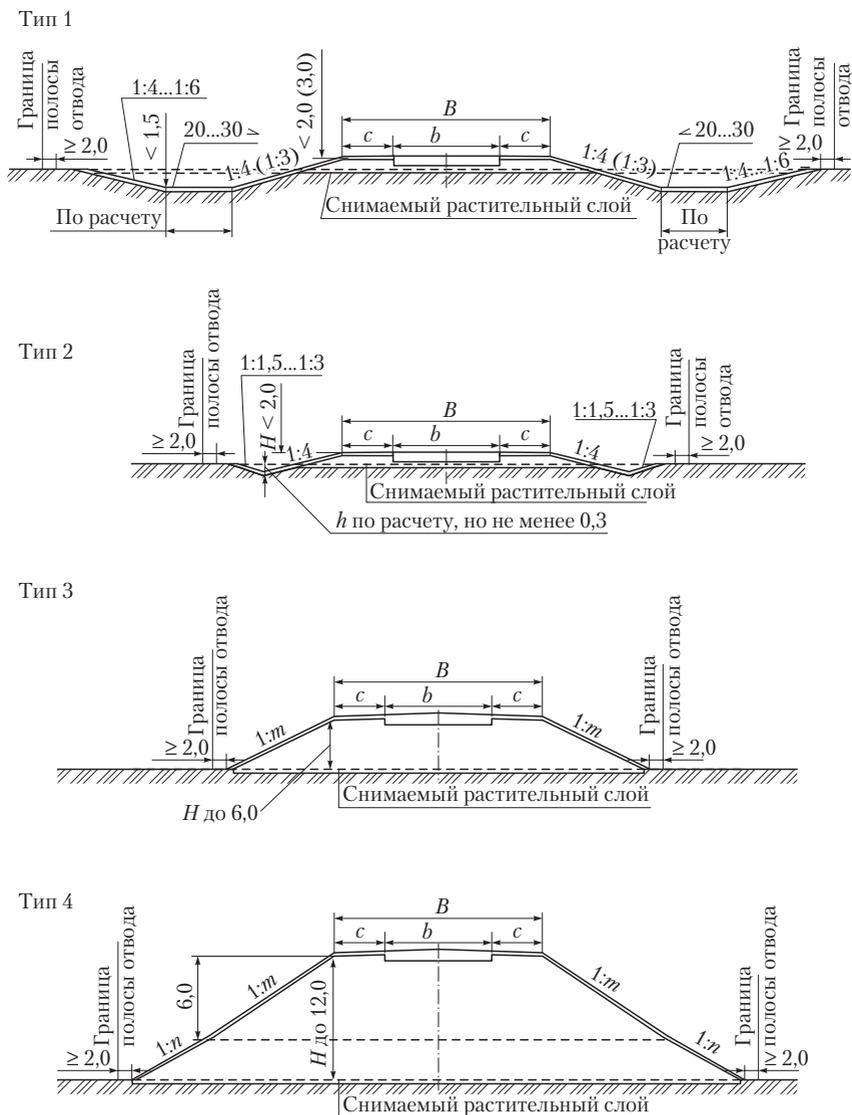


Рис. 1.3. Поперечные профили автомобильных дорог:

тип 1 — насыпь высотой до 2 м с боковыми резервами; тип 2 — до 3 м с кюветами; тип 3 — до 6 м; тип 4 — до 12 м;  $B$  — ширина дорожного полотна;  $b$  — проезжая часть;  $c$  — обочина;  $m$  — показатель заложения откоса в верхней части насыпи;  $n$  — показатель заложения откоса в нижней части насыпи

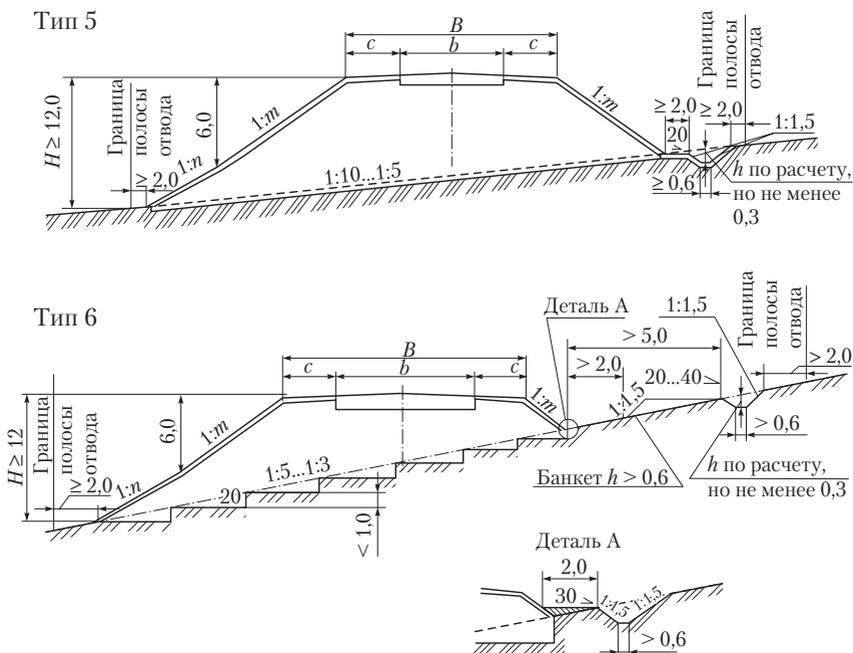


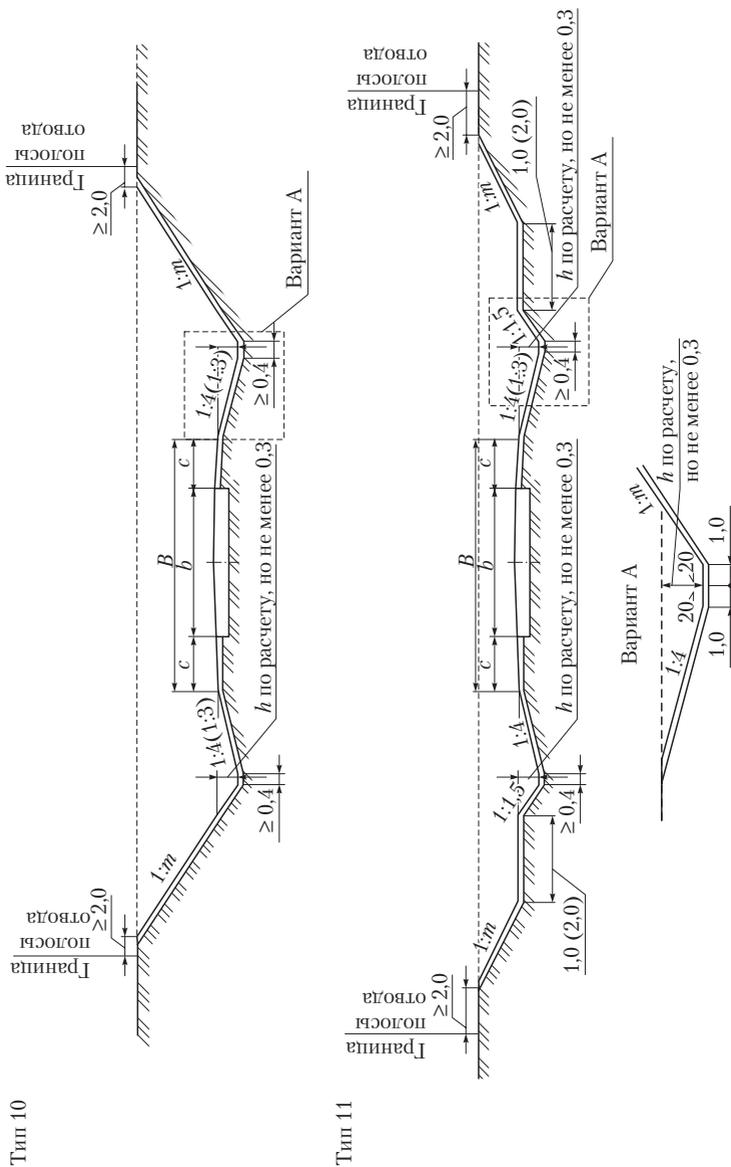
Рис. 1.4. Поперечные профили насыпей на косогоре:

тип 5 — при крутизне склона 1:10...1:5 и высоте насыпи с низовой стороны до 12 м; тип 6 — при крутизне склона 1:5...1:3

грунта к объекту строительства. Минимальные транспортные расходы будут при разработке грунта в притрассовых резервах и его перемещении с помощью бульдозера или скрепера. Однако в этом случае объем разрабатываемого грунта будет ограничен глубиной резерва и потребуются увеличение ширины полосы отвода. Основным способом разработки и доставки грунта является разведка и разработка сосредоточенного резерва (карьера) вблизи строительного объекта. Такие карьеры разрабатываются с помощью экскаваторов, а грунт доставляется на объект автомобилями-самосвалами.

**Притрассовый резерв** — территория, располагаемая у основания насыпи или вблизи нее и используемая для разработки грунта неглубокими выемками, из которых грунт перемещается в насыпь дороги.

**Полоса отвода** — территория, на которой размещается автомобильная дорога и все ее сооружения.



Тип 10

Тип 11



**Сосредоточенный резерв (карьер)** — временное или постоянно действующее производственное предприятие, предназначенное для разработки грунта открытым способом, обогащения каменных материалов, механизированного получения смеси грунта с вяжущими материалами, отгрузки продукции в транспортные средства.

Земляное полотно как конструктивный элемент автомобильной дороги должно соответствовать ряду требований:

- быть устойчивым, для чего следует:
  - предохранять верхнюю часть земляного полотна от избыточного увлажнения за счет придания его поверхности уклонов, применять специальные поперечники земляного полотна с целью защиты его от поверхностных вод (уположенные откосы, бермы), а также от проникновения воды через обочины;
  - предохранять земляное полотно от увлажнения снизу за счет его возвышения над уровнем грунтовых вод и понижения уровня подземных вод с помощью дренажа;
  - регулировать водно-тепловой режим земляного полотна с помощью гидроизолирующих, теплоизолирующих, дренирующих или капилляропрерывающих прослоек;
- быть прочным, для чего следует укреплять и улучшать грунт рабочего слоя с использованием гранулометрических добавок, вяжущих веществ, армирования и других мероприятий.

## 1.2. Грунт как строительный материал для сооружения земляного полотна



**Грунт** — это любая горная порода, почва или искусственное образование, слагающие верхний слой земной коры, изучаемые как многокомпонентная система, изменяющиеся во времени и применяемые при возведении инженерных сооружений в качестве основания, среды или материала. Категории и виды грунтов, их свойства и характеристики подробно изучаются дисциплиной «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна», поэтому здесь рассмотрены только основные параметры, необходимые при решении задач по строительству земляного полотна.

Грунты, необходимые для сооружения земляного полотна, добывают в поверхностных слоях земной коры, которые относятся

к антропогенному покрову, образованному в результате ледниковых надвигов. На территории Республики Беларусь (рис. 1.6) можно выделить отложения, относящиеся к пяти ледниковым периодам: Наревскому, Березинскому, Днепровскому, Сожскому и Поозерскому. Ледники не только создали свои отложения, но и сформировали рельеф территории, который в основном является равнинным или слабохолмистым.

*Северная часть* Беларуси (Белорусское Поозерье) относится к области ледниково-аккумулятивного рельефа, в формировании которого главную роль сыграл последний из ледников — Поозерский. На этой территории залегают в основном глины и тяжелые суглинки (моренные и озерно-ледниковые). Морены бывают конечные (валуны, галька, гравий) и основные (суглинки и супеси с включениями валунов, гальки, гравия). Из полезных ископаемых можно выделить запасы доломита, относящегося к осадочным, органогенным, карбонатным горным породам.

*Центральная часть* республики имеет наиболее высокое положение. От района Гродно — Волковыск в северо-восточном направлении простирается Белорусская гряда, созданная преимущественно Сожским ледником. В западной части Белорусской гряды выделяются Гродненская, Волковысская, Слонимская, Новогрудская возвышенности.

На *востоке* республики расположена Оршанская возвышенность. На этой территории в основном залегают суглинки, супеси, пески, относящиеся к конечным и основным моренам, а также лёссы, лёссовидные суглинки и супеси озерно-ледниковые и водно-ледниковые.

*Южная часть* республики включает Брестское, Припятское, Мозырское и Гомельское Полесья. В основном, поверхность Белорусского Полесья представляет пониженную заболоченную полугую слабоволнистую равнину. На этой территории залегают супеси песчанистые водно-ледниковые, пески дюнные эоловые, аллювиальные, торф низинного типа

В строительстве в соответствии с СТБ 943–2007 «Грунты. Классификация» грунты подразделяются на группы. Учитывая специфическое залегание на территории республики грунтов, относящихся к осадочным горным породам, приведем классификацию крупнообломочных (табл. 1.2), песчаных (табл. 1.3) и пылевато-глини-

стых грунтов (табл. 1.4). В соответствии с ТКП 45-3.03-19–2006 грунты для верхней части земляного полотна дополнительно классифицируются по составу (табл. 1.5).

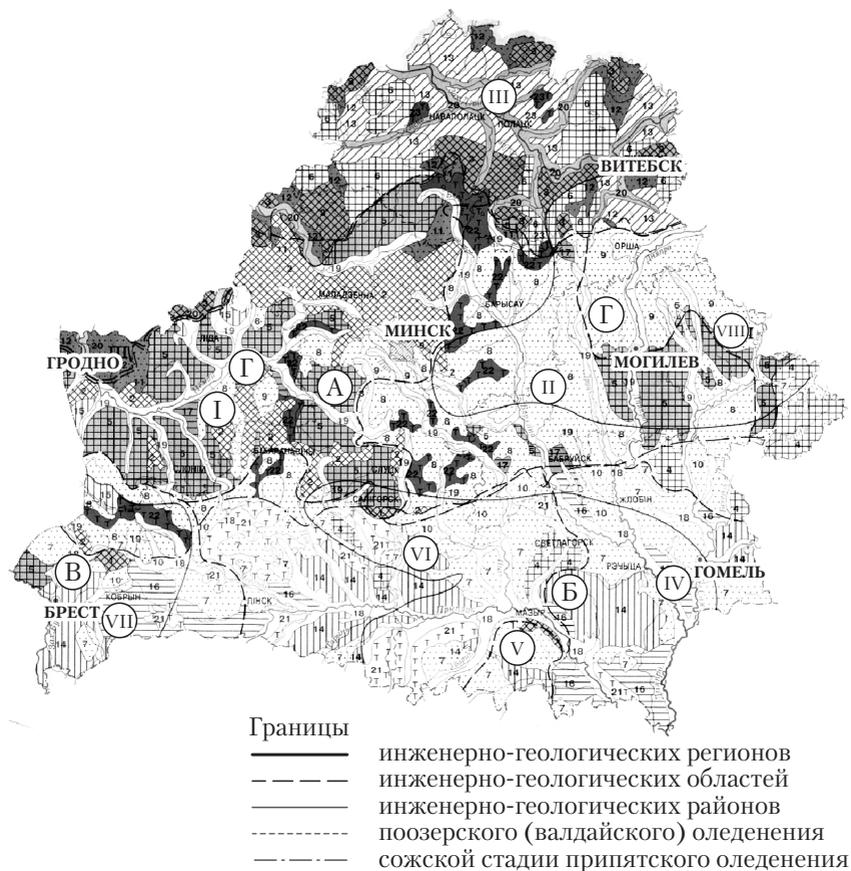


Рис. 1.6. Распространение грунтов антропогенного покрова на территории Республики Беларусь: инженерно-геологические регионы: А – Центральнобелорусский, Б – Припятский, В – Брестский, Г – Оршанский. Инженерно-геологические области: I – Белорусская гряда, II – Центральнорезинская равнина, III – Белорусское Поозерье, IV – Гомельское Полесье, V – Мозырское Полесье, VI – Припятское Полесье, VII – Брестское Полесье, VIII – Оршанско-Могилевская равнина

Таблица 1.2

## Классификация крупнообломочных грунтов

Тип	Вид	Разновидность
<p>По гранулометрическому составу:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• валунный грунт (при преобладании неокатанных частиц — глыбовый) — масса частиц крупнее 200 мм более 50 %;</li> <li>• галечниковый грунт (при преобладании неокатанных частиц — щебенистый) — масса частиц крупнее 10 мм более 50 %;</li> <li>• гравийный грунт (при преобладании неокатанных частиц — дресвяный) — масса частиц крупнее 2 мм более 50 %</li> </ul>	<p>По составу и содержанию заполнителя:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• с песчаным заполнителем — при его содержании более 40 %</li> <li>• с глинистым заполнителем — при его содержании более 30 % (состав заполнителя устанавливается после удаления из образца грунта частиц крупнее 2 мм)</li> </ul>	<p>По степени влажности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• маловлажный <math>0 &lt; S_r \leq 0,5</math></li> <li>• влажный <math>0,5 &lt; S_r \leq 0,8</math></li> <li>• водонасыщенный <math>0,8 &lt; S_r \leq 1</math></li> </ul> <p>По степени засоленности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• незасоленный — при содержании песчаного заполнителя менее 40 % или пылевато-глинистого — менее 30 % <math>D_{sal} &lt; 2</math>; при содержании песчаного заполнителя 40 % и более <math>D_{sal} &lt; 0,5</math>; при содержании глинистого заполнителя 30 % и более <math>D_{sal} &lt; 5</math>;</li> <li>• засоленный — значения <math>D_{sal}</math> больше, чем для незасоленного</li> </ul>

Таблица 1.3

## Классификация песчаных грунтов

Тип	Вид	Разновидность
Песок (песчаный грунт) — в гранулометрическом составе масса частиц крупнее 2 мм менее 50 %, число пластичности $I_p < 1$	По гранулометрическому составу: <ul style="list-style-type: none"> <li>• гравелистый — масса частиц крупнее 2 мм более 25 %;</li> <li>• крупный — масса частиц крупнее 0,5 мм более 50 %;</li> <li>• средний — масса частиц крупнее 0,25 мм более 50 %;</li> <li>• мелкий — масса частиц крупнее 0,1 мм более 75 %;</li> <li>• пылеватый — масса частиц крупнее 0,1 мм менее 75 %</li> </ul>	По результатам зондирования (оценивается удельным сопротивлением под конусом зонда ( $q_c$ ) и условным динамическим сопротивлением ( $R_d$ ): <ul style="list-style-type: none"> <li>• прочный;</li> <li>• средней прочности;</li> <li>• малопрочный</li> </ul>
	По показателю максимальной неоднородности ( $U_{\max}$ ): <ul style="list-style-type: none"> <li>• однородный, <math>U_{\max} &lt; 4</math>;</li> <li>• среднеоднородный, <math>4 \leq U_{\max} \leq 20</math>;</li> <li>• неоднородный, <math>20 &lt; U_{\max} \leq 40</math>;</li> <li>• повышенной неоднородности, <math>U_{\max} &gt; 40</math></li> </ul>	По степени влажности ( $S_r$ ): <ul style="list-style-type: none"> <li>• маловлажный, <math>0 &lt; S_r \leq 0,5</math>;</li> <li>• влажный, <math>0,5 &lt; S_r \leq 0,8</math>;</li> <li>• водонасыщенный, <math>0,8 &lt; S_r \leq 1</math></li> </ul> По степени засоленности: <ul style="list-style-type: none"> <li>• незасоленный <math>D_{\text{sal}} &lt; 0,5</math>;</li> <li>• засоленный <math>D_{\text{sal}} \geq 0,5</math></li> </ul>
	По относительному содержанию органического вещества ( $I_{\text{om}}$ ): <ul style="list-style-type: none"> <li>• без примеси органического вещества, <math>I_{\text{om}} \leq 0,03</math>;</li> <li>• с примесью органического вещества, <math>0,03 &lt; I_{\text{om}} \leq 0,1</math></li> </ul>	По температуре ( $t$ , °C): <ul style="list-style-type: none"> <li>• немерзлые (талые) <math>t \geq 0</math>;</li> <li>• мерзлые <math>t &lt; 0</math></li> </ul> По относительной деформации морозного пучения грунта ( $\epsilon_{\text{th}}$ ): <ul style="list-style-type: none"> <li>• непучинистый, <math>\epsilon_{\text{th}} &lt; 0,01</math>;</li> <li>• слабопучинистый, <math>0,01 \leq \epsilon_{\text{th}} &lt; 0,04</math>;</li> <li>• среднепучинистый, <math>0,04 \leq \epsilon_{\text{th}} &lt; 0,07</math>;</li> <li>• сильнопучинистый <math>\epsilon_{\text{th}} \geq 0,07</math></li> </ul>

Таблица 1.4

## Классификация глинистых грунтов

Тип	Вид	Разновидность
По числу пластичности ( $I_p$ ): <ul style="list-style-type: none"> <li>• супесь, <math>1 \leq I_p \leq 7</math>;</li> <li>• суглинок, <math>7 &lt; I_p \leq 17</math>;</li> <li>• глина, <math>I_p &gt; 17</math></li> </ul>	По содержанию включений по массе: <ul style="list-style-type: none"> <li>• с галькой (щебнем) либо с гравием (дресвой) — при содержании соответствующих частиц крупнее 2 мм; <math>15...25\%</math>;</li> <li>• галечниковый (щебенистый) либо гравелистый (дресвяный) — при содержании соответствующих частиц крупнее 2 мм <math>25...50\%</math></li> </ul>	По результатам зондирования (оценивается удельным сопротивлением под конусом зонда и условным динамическим сопротивлением): <ul style="list-style-type: none"> <li>• очень прочные;</li> <li>• прочные;</li> <li>• средней прочности;</li> <li>• слабые</li> </ul>
	По относительному содержанию органического вещества: <ul style="list-style-type: none"> <li>• без примеси органического вещества, <math>I_{om} \leq 0,05</math>;</li> <li>• с примесью органического вещества, <math>0,05 &lt; I_{om} \leq 0,1</math></li> </ul>	По показателю текучести ( $I_L$ ): <ul style="list-style-type: none"> <li>• супесь               <ul style="list-style-type: none"> <li>– твердая, <math>I_L &lt; 0</math>;</li> <li>– пластичная, <math>0 \leq I_L \leq 1</math>;</li> <li>– текучая, <math>I_L &gt; 1</math>;</li> </ul> </li> <li>• суглинок и глина:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– твердые, <math>I_L &lt; 0</math>;</li> <li>– полутвердые, <math>0 \leq I_L \leq 0,25</math>;</li> <li>– тугопластичные, <math>0,25 &lt; I_L \leq 0,5</math>;</li> <li>– мягкопластичные, <math>0,5 &lt; I_L \leq 0,75</math>;</li> <li>– текучепластичные, <math>0,75 &lt; I_L \leq 1</math>;</li> <li>– текучие, <math>I_L &gt; 1</math></li> </ul> </li> </ul>
	По коэффициенту пористости ( $e$ ) лёссовидные: <ul style="list-style-type: none"> <li>• низкопористые, <math>e \leq 0,8</math>;</li> <li>• высокопористые, <math>e &gt; 0,8</math></li> </ul>	По относительной деформации просадочности ( $\epsilon_{sl}$ ): <ul style="list-style-type: none"> <li>• непросадочный, <math>\epsilon_{sl} &lt; 0,01</math>;</li> <li>• просадочный, <math>\epsilon_{sl} \geq 0,01</math></li> </ul>

Окончание табл. 1.4

Тип	Вид	Разновидность
По числу пластичности ( $I_p$ ): <ul style="list-style-type: none"> <li>• супесь, <math>1 \leq I_p \leq 7</math>;</li> <li>• суглинок, <math>7 &lt; I_p \leq 17</math>;</li> <li>• глина, <math>I_p &gt; 17</math></li> </ul>	По коэффициенту пористости ( $e$ ) лёссовидные: <ul style="list-style-type: none"> <li>• низкопористые, <math>e \leq 0,8</math>;</li> <li>• высокопористые, <math>e &gt; 0,8</math></li> </ul>	По относительной деформации набухания без нагрузки ( $\epsilon_{sw}$ ): <ul style="list-style-type: none"> <li>• ненабухающий, <math>\epsilon_{sw} &lt; 0,04</math>;</li> <li>• слабонабухающий, <math>0,04 \leq \epsilon_{sw} \leq 0,08</math>;</li> <li>• средненабухающий, <math>0,08 &lt; \epsilon_{sw} \leq 0,12</math>;</li> <li>• сильнонабухающий, <math>\epsilon_{sw} &gt; 0,12</math></li> </ul>
		По степени засоленности супесь и суглинок: <ul style="list-style-type: none"> <li>• незасоленный <math>D_{sal} &lt; 5</math>;</li> <li>• засоленный <math>D_{sal} \geq 5</math></li> </ul>
		По температуре: <ul style="list-style-type: none"> <li>• немерзлые (талые), <math>t \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C}</math>;</li> <li>• мерзлые, <math>t &lt; 0 \text{ } ^\circ\text{C}</math></li> </ul>
		По относительной деформации морозного пучения грунта: <ul style="list-style-type: none"> <li>• непучинистый, <math>\epsilon_{th} &lt; 0,01</math>;</li> <li>• слабопучинистый, <math>0,01 \leq \epsilon_{th} &lt; 0,04</math>;</li> <li>• среднепучинистый, <math>0,04 \leq \epsilon_{th} &lt; 0,07</math>;</li> <li>• сильнопучинистый, <math>\epsilon_{th} \geq 0,07</math></li> </ul>

Таблица 1.5

**Типы и подтипы глинистых грунтов**

Грунты		Содержание песчаных частиц, % по массе	Число пластичности
Тип	Подтип		
Супесь	Легкая крупная	Более 50 % частиц размером 2...0,25 мм	1...7
	Легкая	Более 50 % (2...0,05 мм)	1...7
	Пылеватая	50...20 %	1...7
	Тяжелая пылеватая	Менее 20 %	1...7
Суглинок	Легкий	Более 40	7...12
	Легкий пылеватый	Менее 40	7...12
	Тяжелый	Более 40	12...17
	Тяжелый пылеватый	Менее 40	12...17
Глина	Песчанистая	Более 40	17...27
	Пылеватая	Менее 40	17...27
	Жирная	Не нормируется	Более 27

Крупнообломочные и песчаные (гравелистый, крупный, средний) грунты обладают высоким коэффициентом фильтрации и рекомендуются для устройства земляного полотна без ограничения. Остальные грунты (песок мелкий и пылеватый), супеси, суглинки, глины) должны быть испытаны по таким показателям, как степень набухания (табл. 1.6), относительная просадочность (табл. 1.7), величина морозного пучения (табл. 1.8).

Таблица 1.6

**Классификация грунтов по степени набухания**

Разновидность грунтов (при влажности $0,5W_{\text{опт}}$ )	Относительная деформация набухания, % от толщины слоев увлажнения
Ненабухающий	Менее 2
Слабонабухающий	От 2 до 4 включительно
Средненабухающий	От 5 до 10 включительно
Сильнонабухающий	Свыше 10

*Примечание.*  $W_{\text{опт}}$  — оптимальная влажность.

Таблица 1.7

**Классификация грунтов по степени просадочности**

Разновидность грунтов	Коэффициент просадочности	Относительная деформация набухания, % толщины слоя промачивания
Непросадочный	От 0,92	Менее 2
Слабопросадочный	От 0,85 до 0,91 включительно	От 2 до 7 включительно
Просадочный	От 0,80 до 0,84 включительно	От 8 до 12 включительно
Сильнопросадочный	До 0,79	Свыше 12

Таблица 1.8

**Классификация грунтов по степени пучинистости при замерзании**

Грунт	Группа грунта	Относительное морозное пучение, %	Степень пучинистости
Песок гравелистый, крупный, средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 2 %	I	До 1 включительно	Непучинистый
Песок гравелистый, крупный, средней крупности, мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 15 %; супесь легкая крупная	II	Свыше 1 до 4 включительно	Слабопучинистый
Супесь легкая, суглинок легкий и тяжелый; глины	III	Свыше 4 до 7 включительно	Пучинистый
Песок пылеватый; супесь легкая пылеватая; суглинок тяжелый пылеватый	IV	Свыше 7 до 10 включительно	Сильнопучинистый
Супесь тяжелая пылеватая; суглинок легкий пылеватый	V	Свыше 10	Чрезмерно пучинистый

К **слабым грунтам** относят связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,075 МПа (при испытании прибором вращательного среза) или модуль осадки более 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа (модуль деформации ниже 5,0 МПа). При отсутствии данных испытаний к слабым грунтам относят торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с показателем текучести более 0,5 (табл. 1.9).

Таблица 1.9

**Физико-механические показатели слабых грунтов**

Тип грунта по содержанию органики	Разновидность грунта	Содержание органики, %	Зольность, %	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости
Органический	Торф	Более 60	2...20	1,4...1,6	4...22
	Торфосапрпель	Более 60	10...40	1,4...1,6	16...22
	Детритовые сапрпели	Более 60	10...40	1,6...1,8	12...16
Органоминеральный	Известковистые сапрпели	10...60	40...90	1,8...2,1	3...12
	Кремнеземистые сапрпели	10...60	40...90	1,8...2,3	3...12
Минеральный	Болотный мергель	Менее 10	40	2,3...2,6	1,5...3,0
	Болотный ил	Менее 10	40	2,3...2,8	1,1...3,0

Возможность применения слабых грунтов в качестве основания дорожной конструкции устанавливается в зависимости от типа основания по устойчивости (табл. 1.10).

Таблица 1.10

**Тип основания по устойчивости**

Тип основания по устойчивости	Строительный тип грунта	Преобладающая деформация грунта наиболее слабого слоя	Возможность использования слабого грунта в качестве несущего слоя
I	Только тип 1	Сжатие	Можно использовать
II	Тип 2 обязателен; возможно наличие типа 1	При быстрой отсыпке — сдвиг (выдавливание, выпор), при медленной — сжатие	Можно использовать при постепенном нагружении
IIIa	Тип 3a обязателен; возможно наличие типов 1 и 2	При быстрой отсыпке — сдвиг (выдавливание, выпор), при медленной — сжатие и частичное выдавливание	Можно использовать при постепенном нагружении

Окончание табл. 1.10

Тип основания по устойчивости	Строительный тип грунта	Преобладающая деформация грунта наиболее слабого слоя	Возможность использования слабого грунта в качестве несущего слоя
Шб	Преимущественно тип 3б; возможно наличие других типов	Сдвиг (выдавливание, выпор) при любой скорости отсыпки	Нельзя использовать (следует изменить конструкцию насыпи или удалить слабый грунт)



### 1.3. Механизация земляных работ

Для возведения земляного полотна автомобильной дороги применяют землеройные машины, осуществляющие резание грунта путем отделения стружки определенной толщины от общего массива. Землеройные машины подразделяются на землеройно-планировочные и землеройно-транспортные.

*Землеройно-планировочные машины* (бульдозер, автогрейдер) осуществляют срезку ножевым рабочим органом выпуклых элементов грунтовой плоскости и засыпку пониженных элементов, а также ям, устраняют неровности и придают грунтовой плоскости ровный характер горизонтального или наклонного профиля.

*Землеройно-транспортные машины* (скрепер, грейдер-элеватор, экскаватор) с помощью ножевого или дискового рабочего органа послойно отделяют от грунтового массива стружку и перемещают рыхлый грунт к месту укладки или погрузки в кузов транспортного средства.

Выбор ведущего типа машины зависит от высоты насыпи, глубины выемки, типа грунта и дальности его перемещения.

**Бульдозер** (рис. 1.7) представляет собой навесное оборудование на базовый гусеничный или пневмоколесный трактор, включающее отвал с ножами, толкающее устройство в виде брусьев или рамы и гидравлическую систему управления отвалом. Бульдозеры применяют для послойной разработки и перемещения грунтов категорий I–IV:

□ для возведения земляного полотна из выемки в насыпь, из боковых резервов в насыпь высотой до 1...1,5 м;

□ землеройно-планировочных работ: планировки площадок, послойного разравнивания привозного грунта и перемещения его к голове насыпи;

□ снятия растительного слоя грунта, перемещения грунта на небольшие расстояния (10...30 м);

□ сооружения полувыемки-полунасыпи на косогоре;

□ окуливания материалов при выполнении складских операций;

□ уборки валунов и пней, корчевки и валки мелколеся;

□ вспомогательных работ.

По типу привода рабочего оборудования бульдозеры различают с гидравлическим и с канатно-блочным управлением.

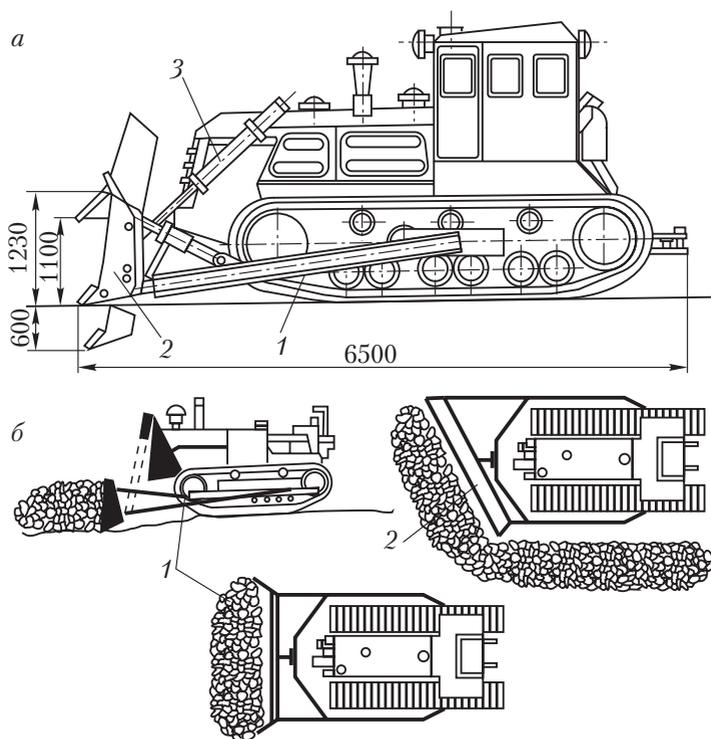


Рис. 1.7. Бульдозер с гидравлической системой управления:  
*a* — схема бульдозера (1 — рама; 2 — отвал; 3 — гидроцилиндр управления отвала);  
*б* — схема работы бульдозера с поворотным отвалом (1 — установка отвала при разработке грунта; 2 — установка отвала при засыпке траншеи)

По классу, который означает номинальную силу тяги базового трактора, различают бульдозеры:

- малогабаритные — класса до 0,9, мощностью 18,5...37 кВт;
- легкие — класса 1,4–4, мощностью 37...96 кВт;
- средние — класса 6–15, мощностью 103...154 кВт;
- тяжелые — класса 25–35, мощностью 220...405 кВт;
- сверхтяжелые — класса 50–100, мощностью 510...880 кВт.

Рабочий цикл бульдозера включает следующие операции.

1. При движении машины вперед отвал с помощью системы управления заглубляется в грунт, срезает ножами слой грунта (на скорости 2,5...4,5 км/ч) и перемещает впереди себя образовавшуюся грунтовую призму волоком по поверхности земли к месту разгрузки (на скорости 4,5...6 км/ч).

2. После отсыпки грунта отвал поднимается в транспортное положение, машина возвращается к месту набора грунта, после чего цикл повторяется.

**Автогрейдер** (рис. 1.8) представляет собой самоходную планировочно-профилировочную машину, основным рабочим органом которой служит полноповоротный отвал с ножами, размещенный между передним и задним мостами пневмоколесного ходового оборудования.

Автогрейдер применяют:

□ для послыйной разработки и перемещения на расстояние до 100 м грунтов категорий I–III при планировочных и профилировочных работах на строительстве земляного полотна;

- сооружения невысоких насыпей и профильных выемок;
- засыпки траншей, канав;
- очистки дорог от снега в зимнее время года.

Автогрейдеры разделяют по массе:

- легкие — до 9 т мощностью 55...65 кВт;
- средние — 9...13 т мощностью 65...110 кВт;
- тяжелые — 13...19 т мощностью 110...185 кВт.

Колесная схема автогрейдера определяется формулой  $A \times B \times B$  ( $A$  — число осей с управляемыми колесами;  $B$  — число осей с ведущими колесами;  $B$  — общее число осей). Колесная схема отечественных автогрейдеров легкого и среднего типов —  $1 \times 2 \times 3$ , тяжелого типа —  $1 \times 3 \times 3$ .

Легкие автогрейдеры обеспечивают наибольшую глубину резания до 0,2 м, средние — до 0,25 м, тяжелые — до 0,5 м.

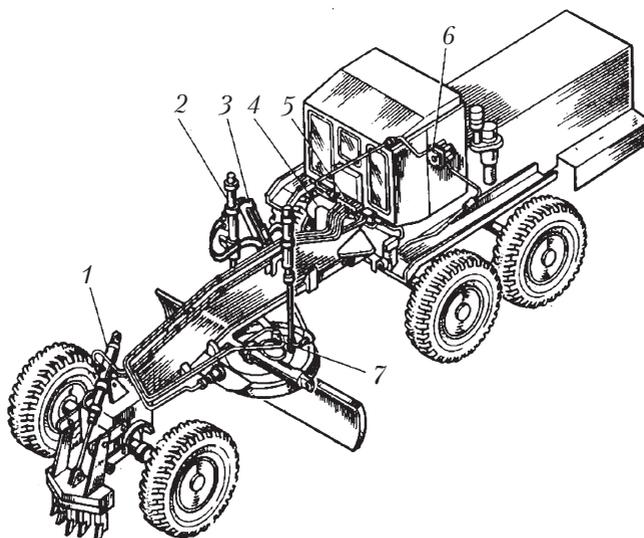


Рис. 1.8. Автогрейдер:

1–3 – гидродвигатели управления кирковщиком, наклоном и поворотом отвала; 4 – базовый тягач; 5 – распределитель; 6 – насос; 7 – поворотная колонка

Кроме основного рабочего отвала, автогрейдер снабжается дополнительным сменным оборудованием:

- удлинителем и уширителем отвала для перемещения и планирования грунтов;
- откосниками (укрепляемыми на отвале) для планирования откосов насыпей (выемок) и очистки канав;
- кирковщиком с шириной захвата 930...1400 мм для взлома дорожных покрытий и рыхления плотных грунтов на глубину до 0,25 м;
- бульдозерным отвалом;
- двухотвальным снегоочистителем, который устанавливается спереди машины и управляется гидроцилиндром.

Рабочий цикл автогрейдера при профилировании включает следующие операции:

1. Полноповоротный отвал устанавливают под определенным углом захвата, углом резания и углом наклона для срезки грунта и перемещения его вдоль отвала.

2. При движении машины грунт срезают с выпуклых участков и заполняют углубления, придавая поверхности ровный профиль.

3. По окончании профилирования отвал приподнимают над поверхностью грунта и автогрейдер разворачивается или движется задним ходом к началу участка, после чего цикл повторяется.

Если автогрейдер работает бульдозерным отвалом, установленным перед поворотными колесами, то цикл его работы такой же, как у бульдозера.

**Скрепер** (рис. 1.9) — самоходная, прицепная или полуприцепная землеройно-транспортная машина, рабочим органом которой служит ковш на пневмоколесах, снабженный в нижней части ножами для срезания грунта. Скреперы предназначены для послойного копания, транспортирования, послойной отсыпки, разравнивания и частичного уплотнения грунтов категорий I–IV.

Главным параметром скрепера является геометрическая вместимость (объем) ковша, в соответствие с чем их делят на машины с малой (до  $3 \text{ м}^3$ ), средней ( $3...10 \text{ м}^3$ ) и большой (свыше  $10 \text{ м}^3$ ) вместимостью ковша. В настоящее время выпускают скреперы с емкостью ковша 3; 4,5; 8; 10; 15; 25; 40  $\text{м}^3$ . Их применяют для доставки грунта из выемок или резервов в насыпь.

Рабочий цикл скрепера состоит из следующих операций:

1) резание грунта и наполнение ковша, при этом нож ковша опущен в грунт, а подвижная заслонка находится в приподнятом состоянии. Скорость движения скрепера при наполнении ковша составляет 2...4 км/ч;

2) подъем наполненного грунтом ковша на ходу в транспортное положение, при этом подвижная заслонка опускается, препят-



Рис. 1.9. Самоходный скрепер

ствую высыпанию грунта из ковша. Скорость при транспортном передвижении составляет 0,5...0,8 от максимальной скорости трактора или тягача;

3) транспортирование грунта в ковше к месту укладки;

4) выгрузка и укладка грунта. При разгрузке подвижная за-слонка вновь поднимается, а грунт вытесняется из приспущенного ковша выдвигаемой вперед задней стенкой ковша, причем регулируемый зазор между режущей кромкой ковша и поверхностью земли определяет толщину укладываемого слоя грунта;

5) обратный (холостой) ход машины в забой.

**Экскаватор** — это самоходная землеройная машина с ковшовым оборудованием, предназначенная для разработки грунтов категорий I–IV с перемещением их на сравнительно небольшие расстояния в отвал или в транспортное средство. Разновидности ковшового оборудования показаны на рис. 1.10.

По вместимости ковша экскаваторы подразделяются на восемь групп: 1 — 0,15 м<sup>3</sup>; 2 — 0,25 м<sup>3</sup>; 3 — 0,4 м<sup>3</sup>; 4 — 0,65 м<sup>3</sup>; 5 — 1,0 м<sup>3</sup>; 6 — 1,6 м<sup>3</sup>; 7 — 2,5 м<sup>3</sup>; 8 — 4,0 м<sup>3</sup>.

По ходовому оборудованию экскаваторы разделяются:

- на гусеничные (вместимость ковша 0,4...1,6 м<sup>3</sup>);
- пневмоколесные (0,4...0,65 м<sup>3</sup>);
- на шасси автомобилей и тракторов (0,15...0,65 м<sup>3</sup>);
- шагающие (до 100 м<sup>3</sup>).

Рабочий цикл одноковшового экскаватора при разработке грунтов состоит из следующих операций.

1) копание грунта (заполнение ковша грунтом);

2) подъем ковша с грунтом из забоя;

3) поворот ковша к месту разгрузки;

4) разгрузка грунта из ковша в отвал или транспортное средство;

5) поворот порожнего ковша к забою и опускание его в исходное положение для следующей операции копания.

Экскаватор с рабочим оборудованием *прямая лопата* разрабатывает грунт в забое, расположенном выше уровня стоянки машины. Экскаватор с оборудованием *обратная лопата* предназначается для рытья траншей и небольших котлованов, расположенных ниже уровня его стоянки. Экскаватор с оборудованием *драглайн* разрабатывает грунт ниже уровня своей стоянки и применяется для рытья котлованов, водоемов и траншей, а также для разработки

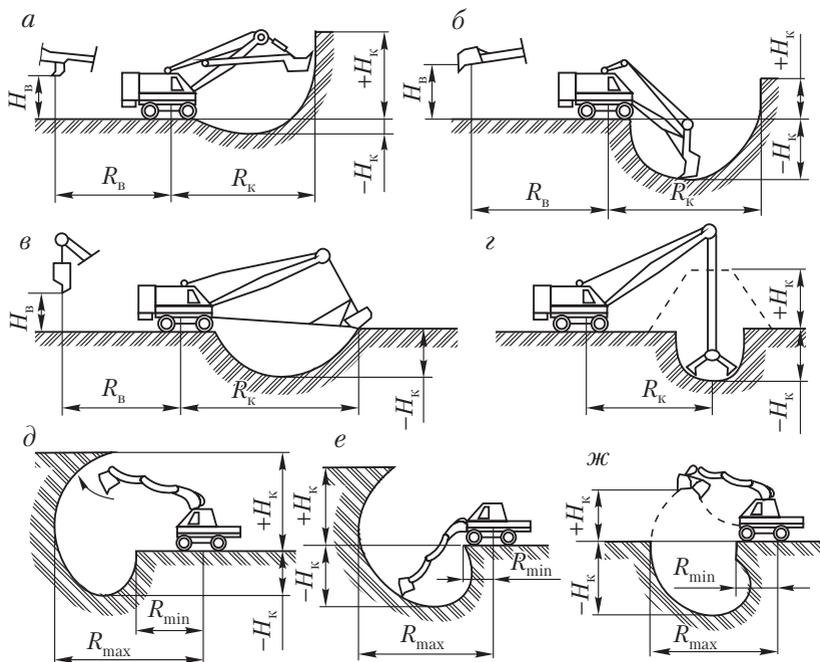


Рис. 1.10. Профили забоев экскаваторов с различным рабочим органом: *а* — экскаватор прямая лопата с канатным приводом рабочего органа; *б* — экскаватор обратная лопата с канатным приводом рабочего органа; *в* — драглайн; *г* — экскаватор с грейферным рабочим органом; *д* — полноповоротный гидравлический экскаватор прямая лопата; *е* — полноповоротный гидравлический экскаватор обратная лопата; *ж* — полноповоротный гидравлический экскаватор с грейферным ковшом;  $R_B$  — радиус выгрузки;  $R_K$  — радиус копания;  $+H_K$  — глубина копания выше точки стоянки;  $-H_K$  — глубина копания ниже точки стоянки;  $H_B$  — высота выгрузки;  $R_{\min}$  — минимальное расстояние от оси экскаватора до края забоя;  $R_{\max}$  — расстояние от оси экскаватора до внешней точки забоя

различных выемок под водой. Ковш драглайна выполнен совкового типа и связан со стрелой системой тросов.

Одноковшовые экскаваторы применяют:

- при отсыпке насыпи из отдельных резервов;
- выторфовывании;
- разработке глубоких выемок;
- работе в карьерах;
- рытье котлована под трубу.



## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА



### 2.1. Условия обеспечения эксплуатационных качеств земляного полотна

---

Технология строительства представляет собой раздел науки о механических, химических, а также иных способах и процессах обработки материалов и изделий, в результате которых создаются отдельные элементы дороги и дорога в целом. Таким образом, **технология строительства** — это последовательное и рациональное выполнение отдельных технологических процессов, способов и приемов, направленных на разработку горных пород, приготовление материалов и смесей, сооружение составных частей конструкции, при максимальном использовании средств автоматизации, механизации и высококвалифицированных рабочих кадров. Технология работ отвечает на вопрос, как и чем выполнять тот или иной технологический процесс.

Для обеспечения требуемых эксплуатационных качеств земляного полотна автомобильной дороги необходимо:

- обеспечить стабильный водно-тепловой режим дорожной конструкции;
- обеспечить запас прочности земляного полотна, руководствуясь минимальными дорожно-транспортными затратами;
- применить передовые методы и технологии для обеспечения высокого качества дорожной конструкции;
- максимально использовать средства механизации и автоматизации производственных процессов.

Чтобы выполнить эти условия, необходимо на каждом этапе — от проектирования до строительства автомобильной дороги — соблюдать следующие требования:

- обеспечение необходимой устойчивости основания, особенно в местах залегания слабых, водонасыщенных, заторфованных, пучинистых грунтов и в других местах с недостаточной несущей способностью;
- правильный выбор грунтов для земляного полотна с учетом региональных геологических условий и конструктивных мероприятий по устройству капилляропрерывающих, морозозащитных и других прослоек;
- достижение необходимой степени уплотнения слоев грунтов насыпи и завершённой консолидации основания всей дорожной конструкции;

## 2.2. Элементы теории резания

В технологическом отношении под **резанием** грунтов подразумевается процесс отделения от грунтового массива его части в виде кусков или слоев (стружки) инструментом клинообразной формы с целью его разработки (рис. 2.1). В физическом понимании — это один из способов механического разрушения грунтов.

В зоне силового воздействия рабочих органов землеройных машин в грунте возникает концентрация напряжений, сопровождающаяся пластическими деформациями, приводящими к отделению

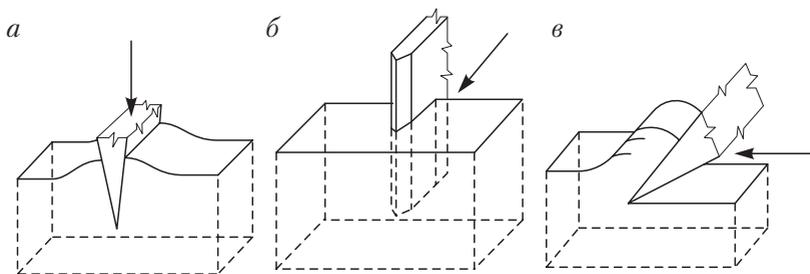


Рис. 2.1. Основные виды резания грунтов:  
а, б — разрезание; в — резание с отделением стружки

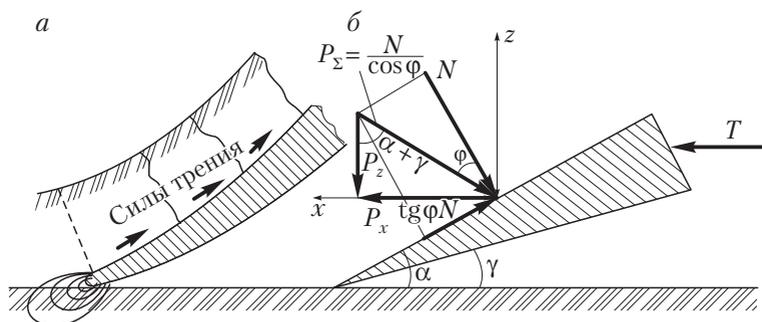


Рис. 2.2. Схема резания грунта:

$a$  — деформация грунта;  $b$  — схема сопротивления резанию;  $N$  — равнодействующая нормальных сил;  $T$  — тяговое усилие;  $P_z$  — вертикальная сила резания;  $P_x$  — горизонтальная сила резания;  $\alpha$  — угол резания;  $\phi$  — угол трения;  $\gamma$  — задний угол

от массива грунта элемента стружки — так называемого *тела скольжения* (рис. 2.2). В зависимости от влажности, степени уплотнения и связности, характер деформации грунта различен: твердый сухой или мерзлый грунт откалывается кусками; связный или задернованный грунт подрезается в виде изгибающего пласта.

У песков сопротивление возрастает при увеличении влажности до полной капиллярной влагоемкости. С увеличением содержания воды в порах грунта более капиллярной влагоемкости угол внутреннего трения ( $\phi$ ) и сцепление грунта ( $C_w$ ) снижаются (рис. 2.3).

У связных грунтов сопротивление сдвигу снижается при влажности, равной максимальной молекулярной влагоемкости. При резании грунт оказывает сопротивление, которое можно оценить через сопротивляемость сдвигу ( $S_{PW}$ ), которое снижается при увеличении влажности грунта и удельного давления (рис. 2.4).

Сопротивление грунтов резанию можно рассмотреть при действии на грунт плоского клина с углом резания  $\alpha$  и задним углом  $\gamma$ , исключая трение задней грани о грунт. Если допустить, что движение клина — установившееся, а сам клин — абсолютно острый, то на его рабочую поверхность будут действовать только две силы:

- равнодействующая нормальных сил  $N$ ;
- сила трения  $N \tan \phi$ .

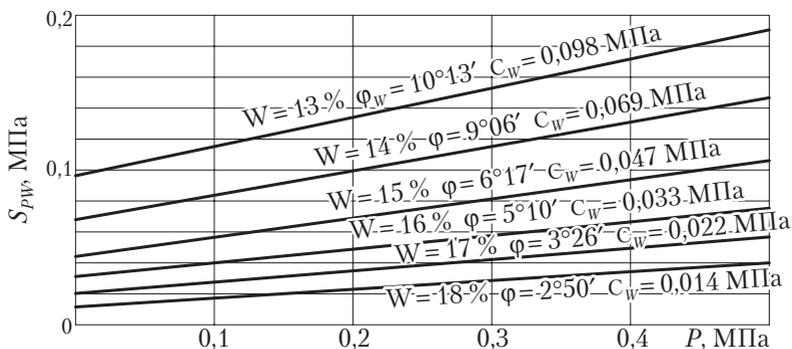


Рис. 2.3. Зависимость сопротивляемости грунта сдвигу от удельного давления при различной влажности:

$W$  — влажность грунта;  $\varphi$  — угол внутреннего трения;  $C_w$  — сцепление грунта

Эти силы могут быть сведены к одной суммарной силе

$$P_{\Sigma} = \frac{N}{\cos \varphi},$$

которая отклонена от нормали к рабочей поверхности клина на угол трения  $\varphi$  (см. рис. 2.2).

Проецируя суммарную силу на оси  $x$  и  $z$ , получим:

□ горизонтальную силу резания

$$P_x = P_{\Sigma} \sin(\alpha + \varphi) = \frac{N}{\cos \varphi} \sin(\alpha + \varphi);$$

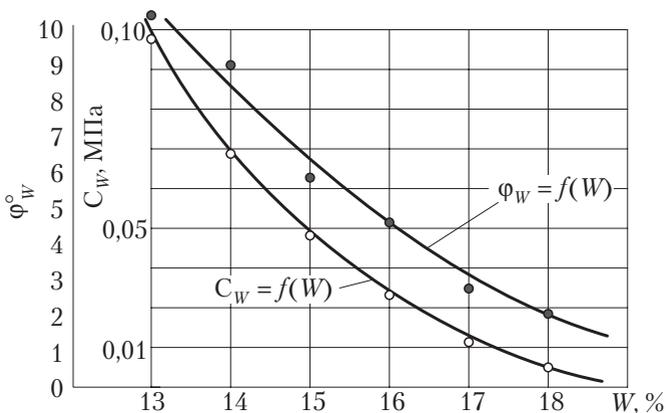


Рис. 2.4. Зависимость угла внутреннего трения и сцепления от влажности

□ вертикальную силу резания

$$P_z = P_\Sigma \cos(\alpha + \varphi) = \frac{N}{\cos \varphi} \cos(\alpha + \varphi).$$

Сила  $P_x$  определяет необходимое тяговое усилие  $T = P_x$  и называется **силой резания**. Вертикальная сила  $P_z$  изменяет свою величину и направление в зависимости от угла резания и угла трения грунта о металл, а также от величины затупления режущей кромки. Найдем отношение этих сил:

$$\frac{P_z}{P_x} = \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi).$$

При углах резания  $\alpha < 90^\circ - \varphi$  вертикальная составляющая  $P_z$  усилия резания направлена вниз, в результате чего происходит затягивание клина в грунт. При углах  $\alpha > 90^\circ - \varphi$  вертикальная составляющая  $P_z$  действует вверх, выталкивая клин в сторону дневной поверхности.



## 2.3. Перемешивание грунта

**Перемешивание (смешение)** — физическое перераспределение отдельных фракций или видов грунтов между собой до однородного содержания смешиваемых компонентов в единице объема. Может выполняться смешение и неоднородных материалов (например, вяжущих веществ с грунтовыми частицами или битума с песком, щебнем и минеральным порошком при производстве асфальтобетонной смеси). Для перемешивания компонентов на дороге применяются ножевые и фрезерные машины, а в смесительных установках — лопастные агрегаты.

Способ перемешивания компонентов на дороге *ножевой машиной* заключается в срезании грунта в виде стружки определенной толщины и перемещении его вдоль отвала, установленного под углом к направлению движения машины, с образованием валика у края отвала, имеющего криволинейный профиль. При этом происходит многократное движение грунтовых частиц снизу вверх, их скатывание вниз и так далее, пока грунт не пройдет по всей длине отвала (траектория движения отдельных частиц напоминает спи-

раль). Последующий проход ножевой машины разравнивает валик грунта в слой определенной толщины. Такое перемещение грунта приводит к перемешиванию компонентов, однако для получения однородной смеси необходимо многократное повторение этих операций.

Способ перемешивания грунтов на дороге *фрезерными машинами* (рис. 2.5) отличается от перемешивания ножевыми машинами. Фреза представляет собой барабан, на котором закреплены ножи, осуществляющие резание грунта на определенную глубину. Срезанный грунт отбрасывается ножом вверх и ударяется о кожух фрезы, разбиваясь на отдельные частицы или мелкие агрегаты. Этот процесс повторяется несколько раз, поскольку скорость вращения барабана намного больше скорости движения фрезы. Помимо ударов о кожух, частицы сталкиваются между собой и за счет трения их поверхностей происходит дополнительное размельчение. Для того чтобы перемешать отдельные фракции грунта фрезой, их необходимо заранее распределить на поверхности слоями. Чтобы перемешать грунт с вяжущим материалом, имеющим вид порошка (например, цементом), его предварительно распределяют по поверхности грунта слоем определенной толщины. Чтобы перемешать грунт с водой или вяжущим, имеющим жидкую конси-

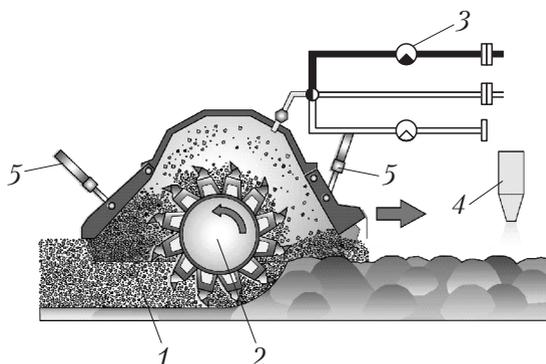


Рис. 2.5. Перемешивание грунта дорожной фрезой:

1 — обработанная смесь; 2 — фрезерный барабан; 3 — управляемый микропроцессором насос для разбрызгивания жидкого компонента; 4 — распределитель сыпучего компонента; 5 — гидrocилиндры для поднятия и опускания фрезы

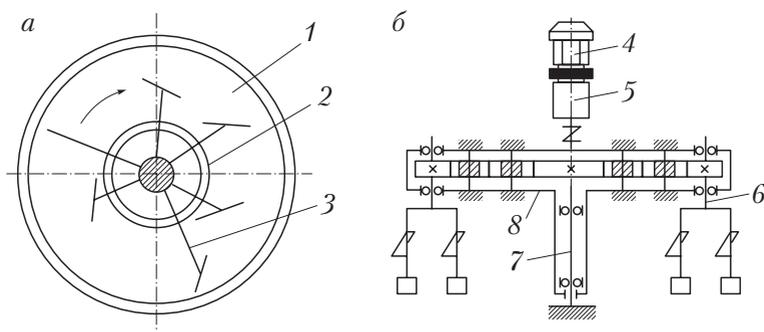


Рис. 2.6. Схема смесителя:

*а* – роторного; *б* – планетарно-роторного; 1 – чаша; 2 – стакан; 3 – ротор с лопатками; 4 – электродвигатель; 5 – редуктор; 6 – лопастный смесительный вал; 7 – вертикальный вал; 8 – траверса

стенцию, под кожух фрезы подводят форсунки, которые разбрызгивают жидкий компонент при отрыве частиц от массива. Таким образом, при перемешивании фрезерными машинами происходят следующие процессы:

- отделение от однородного массива грунта определенной толщины путем среза;
- удары частиц грунта о кожух фрезерного барабана;
- внутреннее трение грунта путем соприкосновения соседних грунтовых частиц;
- повторный удар грунта о кожух и соприкосновение частиц за счет воздействия соседних лопаток или ножей фрезерного барабана, вращающегося с большой скоростью.

Способ перемешивания в *карьерных смесительных установках* наиболее эффективный, поскольку позволяет контролировать процентное содержание компонентов, а также технологический режим по времени и скорости вращения ротора.

Смесители принудительного перемешивания (рис. 2.6) делятся на противоточные, в которых вращение чаши и смесительных лопастей происходит в противоположных направлениях, и роторные (планетарно-роторные), в которых смесительная чаша неподвижна. Перемешивание лопастными агрегатами осуществляется путем вращения лопаток, которые создают вихревые потоки смешиваемых компонентов.

## 2.4. Профилирование поверхности земляного полотна



**Профилирование** представляет собой технологический процесс распределения рыхлого грунта (материала) определенной толщины по поверхности (например, земляному полотну) путем снятия излишка грунта и его перемещения в места с меньшей толщиной разравниваемого слоя либо срезки части плотного грунта с выпуклых элементов грунтовой плоскости и его перемещения во впадины и углубления. В результате профилирования грунтовой плоскости придается характер ровного горизонтального или наклонного профиля в соответствии с заданными геодезическими отметками.

Работы по профилированию грунтовой плоскости (верху земляного полотна) выполняют с помощью ножевой длиннобазовой машины — **грейдера (автогрейдера)**. Размещение отвала внутри колесной базы машины (между передней и задней осями) способствует уменьшению вертикальных перемещений режущей кромки отвала при преодолении колесами грейдера неровностей. Рабочему органу автогрейдера — отвалу — можно придавать различные положения в пространстве, изменяя угол захвата  $\lambda$  (угол в горизонтальной плоскости), угол резания  $\alpha$  (угол в вертикальной плоскости), угол наклона —  $\epsilon$  (положение отвала для придания поверхности грунта наклонного профиля), выдвигание и вынос отвала в сторону относительно продольной оси машины (при профилировании наклонных плоскостей) (рис. 2.7).

Профилирование необходимо для создания ровной поверхности земляного полотна в продольном и поперечном направлениях в соответствии с геодезическими отметками продольного и поперечного профилей.

**Разравнивание** подразумевает распределение насыпного грунта (материала) слоем требуемой толщины. Показания геодезических приборов в данном случае играют второстепенную роль.

Ровность земляного полотна оказывает влияние на ровность покрытия, которая является показателем надежности дорожной одежды по прочности. Так как ровность земляного полотна в течение срока службы не должна снижаться ниже допустимого значения, то согласно результатам исследований С.М. Полосина-Никитина

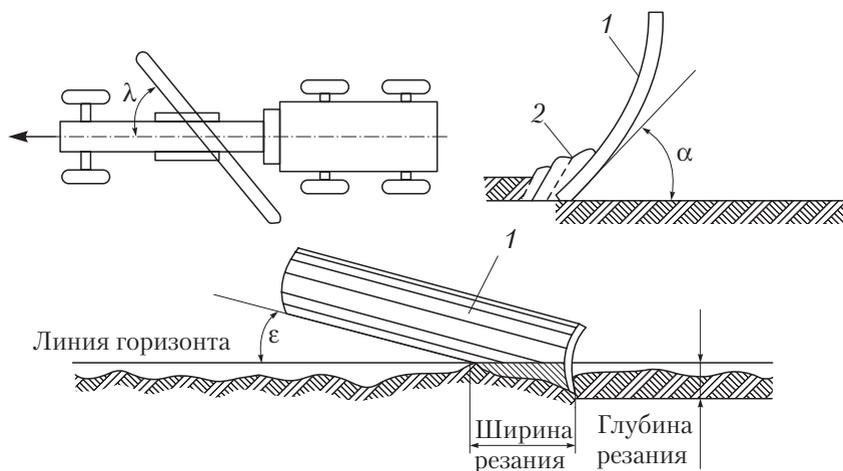


Рис. 2.7. Углы установки отвала автогрейдера:  
 1 — отвал; 2 — стружка грунта;  $\lambda$  — угол захвата;  $\alpha$  — угол резания;  
 $\epsilon$  — угол наклона

ровность в начале эксплуатации дороги должна иметь некоторый запас, отражаемый через коэффициент запаса, который зависит от параметра ровности (табл. 2.1).

Таблица 2.1

**Зависимость коэффициента запаса от параметра ровности**

Параметр ровности, $P$	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
Коэффициент запаса, $K$	1,00	1,02	1,03	1,05	1,06	1,08	1,10	1,12	1,15	1,19

Ровность считается достаточной, если соблюдается условие

$$\delta_{\text{ср}} < \delta_{\text{ср}}^{\text{доп}},$$

где  $\delta_{\text{ср}}$  — средняя амплитуда неровности;  $\delta_{\text{ср}}^{\text{доп}}$  — допустимая ровность, при которой обеспечивается надежность по прочности к концу расчетного периода эксплуатации:

$$\delta_{\text{ср}}^{\text{доп}} = \frac{\sigma_q}{2},$$

где  $\sigma_q$  — среднее квадратичное отклонение величины неровности.

Так как ровность является показателем надежности по прочности, то можно записать, что ровность, которую необходимо обе-

спечить в результате строительства, должна соответствовать допустимой с учетом коэффициента запаса:

$$\delta_{\text{сп}}^{\text{тр}} = \frac{\delta_{\text{сп}}^{\text{доп}}}{K}.$$

Таким образом, обеспечивая необходимую ровность покрытия при профилировочных работах, создаются условия для соблюдения прочности и устойчивости земляного полотна автомобильной дороги.

## 2.5. Уплотнение грунта

**Уплотнение** грунта представляет собой максимальное сближение грунтовых частиц без их разрушения, но с частичным разрушением агрегатов и созданием однородной массы, характеризующейся минимальной пористостью. Процесс уплотнения заключается в вертикальном и горизонтальном перемещении соседних частиц с увеличением числа их контактов. При смещении частиц относительно друг друга возникает сопротивление внутреннего трения, которое препятствует этому перемещению. Оно уменьшается при наличии пленки воды между частицами.

Уплотнение обеспечивает требуемую прочность и устойчивость грунтов, в частности требуемые значения модуля упругости, угла внутреннего трения и сцепления (рис. 2.8).

Оценкой результата уплотнения служит степень плотности грунта, при которой отсутствует возможность дальнейших осадок земляного полотна под действием повторных нагрузок.

Учитывая, что грунт представляет собой многофазную систему, включающую минеральные частицы, жидкую и газообразную составляющие, элементарный объем, занимаемый этой системой, можно выразить следующим выражением:

$$\frac{\rho_d}{\rho_s} + \frac{W_{\text{опт}} \rho_d}{100 \rho_w} + \frac{V_a}{100} = 1,$$

где  $\rho_d$  — плотность сухого грунта, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_s$  — плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>;  $W_{\text{опт}}$  — оптимальная влажность грунта, %;  $\rho_w$  — плотность воды в грунте, г/см<sup>3</sup>;  $V_a$  — содержание воздуха в грунте при оптимальной влажности (в супесях 6...8 %, суглинках 3...4 %, глинах 4...5 %).

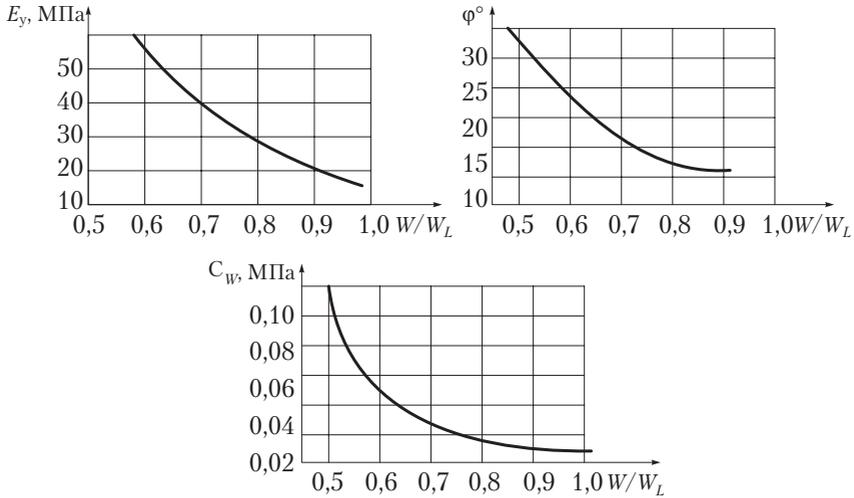


Рис. 2.8. Графики зависимости модуля упругости  $E_y$ , угла внутреннего трения  $\varphi$  и сцепления  $C_w$  от относительной влажности

Исходя из этого выражения можно получить уравнение для определения максимальной плотности грунта:

$$\rho_{d_{\max}} = \frac{\rho_s \left(1 - \frac{V_a}{100}\right)}{1 + \frac{\rho_s W_{\text{опт}}}{100 \rho_w}}$$

Полученное уравнение показывает, что степень плотности грунта при одинаковой плотности частиц грунта  $\rho_s$  будет тем выше, чем меньше объем воздуха в грунте.

Прочность грунта зависит не только от плотности сухого грунта, но и от его структуры, поэтому необходимо знать, как влияет влажность грунта на модуль упругости, сцепление и коэффициент внутреннего трения. Зависимость между модулем упругости  $E_y$  и влажностью  $W$  имеет вид:

$$E_y = \frac{300K_y}{37W^{4.5} + 1},$$

где  $K_y$  — коэффициент уплотнения;  $W$  — влажность в долях границы текучести грунта.

Если связные грунты уплотняют при пониженной влажности, то принимают специальные меры для их защиты от переувлажнения (например, устраивают капилляропрерывающие слои). При влажности менее оптимального значения в несвязных грунтах приходится прикладывать большее усилие при уплотнении или совершать большее количество проходов по одному следу уплотняющей техники.

Степень уплотнения грунта зависит от способа возведения насыпи и применяемой на земляных работах ведущей машины. При отсыпке грунта экскаватором-драглайном первоначальное уплотнение бывает небольшим (0,65...0,75 от максимальной плотности). При возведении насыпи бульдозером плотность грунта не превышает 0,7...0,8 от той же величины. При отсыпке насыпи автомобилями и скреперами предварительное уплотнение грунта увеличивается и составляет 0,8...0,85 от максимальной плотности, а при влажности грунта, близкой к оптимальной, может достигать 0,85...0,9. Чтобы степень уплотнения была не ниже 0,95...1,0 от максимальной плотности, необходимо проводить дополнительное уплотнение специальной техникой

Степень уплотнения грунтов в дорожном строительстве регламентируется следующими коэффициентами: требуемым коэффициентом уплотнения, коэффициентом фактического уплотнения, коэффициентом относительного уплотнения (табл. 2.2). Каждый из них выражается через плотность сухого грунта, которая характеризует требуемую и максимальную плотности, а также плотность в насыпи и в резерве.

Таблица 2.2

## Показатели, характеризующие степень уплотнения грунта

Наименование коэффициента	Формула определения	Оценка степени уплотнения
Требуемый коэффициент уплотнения	$K_{\text{тр}} = \frac{\rho_{d \text{ тр}}}{\rho_{d \text{ max}}}$	Требуемая плотность в конструкции насыпи
Коэффициент фактического уплотнения	$K_{\text{факт. упл}} = \frac{\rho_{d \text{ нас}}}{\rho_{d \text{ max}}}$	Фактическая плотность при длительной эксплуатации земляного полотна
Коэффициент относительного уплотнения	$K_{\text{отн}} = \frac{\rho_{d \text{ тр}}}{\rho_{d \text{ рез}}}$	Фактический объем грунта для насыпи

*Требуемый коэффициент уплотнения* — показатель степени уплотнения, которой необходимо достигнуть при уплотнении грунтов на возведении насыпи и устройстве выемки автомобильной дороги. Он применяется для определения требуемой плотности, являющейся произведением требуемого коэффициента уплотнения и максимальной плотности, определяемой методом стандартного уплотнения.

*Требуемая плотность* определяется из выражения

$$\rho_{d\text{тр}} = K_{\text{тр}}\rho_{d\text{max}},$$

где  $K_{\text{тр}}$  — минимально требуемое значение коэффициента уплотнения грунта земляного сооружения;  $\rho_{d\text{max}}$  — максимальная плотность сухого грунта, определяемая методом стандартного уплотнения по ГОСТ 22733–2002, г/см<sup>3</sup>.

В процессе длительной эксплуатации насыпи земляного полотна или в свежесыпанной насыпи плотность грунта приобретает определенное состояние, которое оценивается *коэффициентом фактического уплотнения*, представляющим собой отношение плотности сухого грунта в контролируемом месте насыпи к максимальной плотности грунта:

$$K_{\text{факт.упл}} = \frac{\rho_{d\text{нас}}}{\rho_{d\text{max}}},$$

где  $\rho_{d\text{нас}}$  — плотность сухого грунта в насыпи, г/см<sup>3</sup>.

*Коэффициент относительного уплотнения* грунта насыпи — отношение требуемой плотности сухого грунта в насыпи к естественной плотности сухого грунта в резерве:

$$K_{\text{отн}} = \frac{\rho_{d\text{тр}}}{\rho_{d\text{рез}}},$$

где  $\rho_{d\text{рез}}$  — плотность сухого грунта естественного залегания, находящегося в резерве.

При уплотнении грунта необходимо соблюдать условие:

$$K_{\text{факт.упл}} \geq K_{\text{тр}}.$$

Другими словами, плотность грунта в дорожной конструкции должна быть не ниже требуемой плотности для данного конструктивного слоя автомобильной дороги.

Различают уплотнение грунтов при кратковременном воздействии динамических нагрузок (механическое уплотнение) и при длительном действии постоянной статической нагрузки (консолидация).

*Механическое уплотнение* представляет собой перераспределение грунтовых частиц в более плотную упаковку под действием внешней нагрузки или вибрационных колебаний.

*Консолидация* — это изменение степени уплотнения грунта во времени. Этот процесс происходит в результате сближения частиц или вытеснения из порового пространства грунта воды под действием собственного веса грунта и природных факторов. Поэтому процесс консолидации очень длительный и характерен для грунтов естественного залегания.

# II

РАЗДЕЛ

## ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

- 
- С — Глава 3. Подготовительные работы при сооружении земляного полотна
  - С — Глава 4. Строительство сооружений для регулирования водно-теплового режима земляного полотна
  - С — Глава 5. Технология строительства дорожных труб
  - С — Глава 6. Рациональное распределение земляных масс
  - С — Глава 7. Возведение насыпей и разработка выемок
  - С — Глава 8. Уплотнение грунта при сооружении земляного полотна
  - С — Глава 9. Планировочные, отделочные работы и работы по рекультивации нарушенных земель
  - С — Глава 10. Укрепительные работы

## ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

### 3.1. Работы, выполняемые при сооружении земляного полотна



Строительство земляного полотна автомобильной дороги выполняют на основании проекта производства работ и проекта организации строительства. На стадии утверждения и согласования проекта автомобильной дороги производят отвод земель с подписанием соответствующих документов в организациях и ведомствах, являющихся пользователями земель. **Отвод земли** — закрепление участка земли, используемого постоянно или временно для размещения автомобильной дороги и ее инфраструктуры, за ведомством, осуществляющим строительство и эксплуатацию автомобильной дороги. Ширину полосы земли, используемой постоянно, устанавливают в зависимости от категории дороги, числа полос движения, высоты насыпи или глубины выемки, заложения откосов, наличия или отсутствия боковых резервов, поперечного уклона местности, наличия дополнительных полос движения.

Для размещения автомобильной дороги определяют **полосу отвода** — полосу земли, на которой размещаются автомобильная дорога и все относящиеся к ней сооружения. Ширина полосы отвода обычно складывается из ширины насыпи по подошве плюс 2 м с каждой стороны насыпи, или ширины выемки по бровкам откоса плюс 2 м с каждой стороны выемки, или расстояния между внешними бровками кювета-резерва плюс 2 м с каждой стороны.

Наименьшая ширина полосы отвода принимается согласно нормам отвода земель под автомобильные дороги (табл. 3.1).

При возведении земляного полотна проводятся следующие работы: подготовительные, основные по возведению насыпи и разработке выемок, отделочные.

Таблица 3.1

**Наименьшая ширина полосы отвода**

Категория дороги	Расстояние от оси дороги до ее края, м
I	32
II	16
III	14
IV	13
V	12

*Подготовительными* называют работы, выполняемые в соответствии с проектом организации строительства до начала сооружения земляного полотна. К ним относятся:

- восстановление и закрепление трассы;
- расчистка полосы отвода и снятие растительного слоя;
- разбивка элементов земляного полотна;
- водоотводные и осушительные работы;
- подготовка основания насыпи;
- расчистка территорий, отведенных под карьеры и резервы;
- постройка временных дорог и временных сооружений;
- перенос и переустройство воздушных кабельных линий связи, электропередачи, трубопроводов, коллекторов и других коммуникаций;
- строительство производственных предприятий, временных жилых поселков.

Все эти работы делятся на внутриплощадочные и внеплощадочные. К **внутриплощадочным** относятся работы по подготовке территории непосредственно в пределах полосы отвода: восстановление и закрепление трассы; геодезические работы; расчистка полосы отвода; водоотводные и осушительные работы; разбивка элементов земляного полотна; подготовка основания насыпи; в необходимых случаях рыхление грунтов в резервах и выемках.

К внеплощадочным относятся работы по подготовке к строительству сооружений: производственных баз, карьеров, временных дорог (для снабжения материалами и энергоресурсами) и других коммуникаций.



### 3.2. Внутриплощадочные работы

**Восстановление и закрепление трассы дороги** — совокупность работ по обнаружению и закреплению на местности оси дороги, запроектированной и проложенной при изысканиях. Эти работы включают нанесение на местности основных осей сооружений, развитие опорной сети с восстановлением и закреплением всех точек и осей как земляного полотна, так и всех дорожных сооружений.

К **геодезическим работам** относят:

- вынос на границу полосы отвода всех знаков геодезической разбивочной сети;
- разбивку по трассе пикетов и плюсовых точек с выноской на границу полосы отвода;
- установление дополнительных реперов у насыпей высотой свыше 3 м (за пределами подошвы), у выемок глубиной более 3 м (за бровками откосов), у искусственных сооружений;
- установление промежуточных реперов на пересеченной местности;
- разбивку круговых и переходных кривых с закреплением промежуточных точек.

Геодезической разбивочной основой на местности служат знаки, закрепляющие ось дороги, и реперы, которые должны располагаться вдоль трассы не реже чем через 2 км. Реперы устанавливаются в стороне от дороги, окапывают неглубокими канавами и обсыпают землей в виде конуса.

Пикеты выносят под прямым углом к оси трассы и устанавливают пикетные столбы на границе полосы отвода (рис. 3.1).

На прямых участках дороги закрепление производят через 200...400 м. Для этого на границе полосы отвода устанавливают выносные столбы, а между ними выставляют промежуточные выставные колья. Рабочая разбивка контуров насыпей и выемок про-

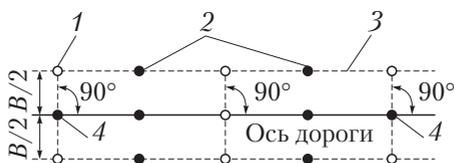


Рис. 3.1. Схема закрепления оси дороги на прямом участке трассы:  
 1 — выносной столб; 2 — выносные колья; 3 — граница полосы отвода;  
 4 — четные пикеты;  $B$  — ширина полосы отвода

изводится от установленных пикетов и реперов не реже чем через 50 м на прямых.

На криволинейных участках выносные столбы располагаются через каждые 100 м, а рабочая разбивка контуров насыпей и выемок производится через каждые 10...20 м (рис. 3.2). Вершины углов закрепляют установкой столбов, которые закапывают на расстоянии 0,5 м от фактической вершины на продолжении биссектрисы.

**Расчистка полосы отвода от леса и кустарника** — комплекс работ, связанных с удалением лесной растительности, пней от срезанных деревьев, крупных камней с территории, отводимой для строительства автомобильной дороги.

Проведению этих работ предшествует перенос или переустройство строений, линий связи или электропередачи, подземных инженерных сооружений. Расчистка полосы от леса является наиболее

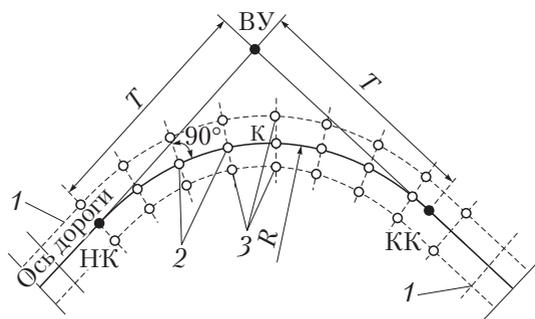


Рис. 3.2. Схема закрепления оси дороги на криволинейном участке трассы:  
 1 — граница полосы отвода; 2 — пикеты; 3 — выносные столбики с отметками;  
 НК — начало кривой; КК — конец кривой; ВУ — вершина угла;  $T$  — тангенс кривой;  $R$  — радиус кривой;  $K$  — длина кривой, измеряемая от начала (НК) до конца кривой (КК)

трудоемкой работой. Лесная растительность является ценным природным сырьем, 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 зимой в более устойчивом состоянии, целесообразней расчистку дорожной полосы вести в это время. Валку деревьев осуществляют бензомоторными или электрическими пилами, а при большом объеме работ — лесовальными машинами.

Спиленные деревья очищают от сучьев и транспортируют трелевочными тракторами к временному складу, где производится их разделка на сортаменты и погрузка с помощью крана с грейферным захватом или специальным лесопогрузчиком в кузов транспортного средства.

Технология расчистки дорожной полосы от леса представлена на рис. 3.3.

Высота пней должна быть минимальной. Пни допускается оставлять в основании земляного полотна, предназначенного для капитальных облегченных, переходных и низших типов дорожных одежд на дорогах категорий III–V при насыпях более 1,5 м. Причем при насыпях от 1,5 до 2 м пни должны быть срезаны вровень с землей, а при насыпи более 2 м — на высоте 10 см от земли.

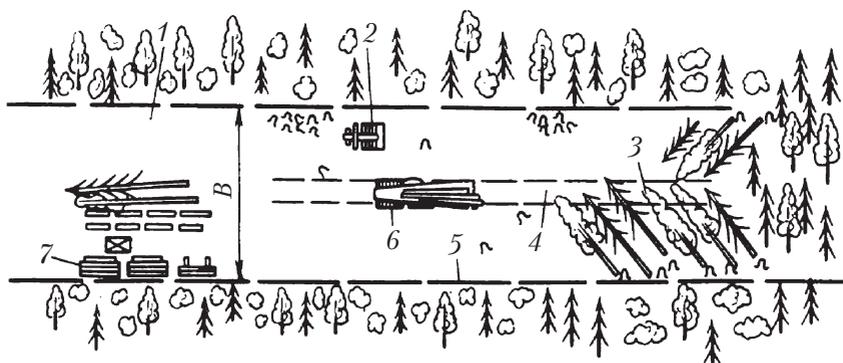


Рис. 3.3. Расчистка дорожной полосы от леса:  
1 — разделочная площадка; 2 — корчеватель; 3 — поваленные деревья; 4 — трелевочный валок; 5 — граница полосы отвода; 6 — трелевочный трактор; 7 — штабеля сортаментов;  $B$  — ширина полосы отвода

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

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

Мелкие камни (объемом до  $1 \text{ м}^3$ ) удаляют за пределы дорожной полосы бульдозером, крупные (больше  $1 \text{ м}^3$ ) предварительно разрушают взрыванием.

**Снятие растительного слоя** является следующей технологической операцией.

Подготовительные работы предусматривают снятие растительного слоя грунта на ширину основания насыпи с учетом уширения полосы на 2 м с каждой стороны подошвы насыпи. Впоследствии растительный грунт используется для рекультивации нарушенных земель. Снятие плодородного слоя почвы регламентируется ГОСТ 17.5.3.06–85 и «Положением о снятии, использовании и сохранении плодородного слоя почвы при производстве работ, связанных с нарушением земель», утвержденным Государственным Комитетом по земельным ресурсам, геодезии и картографии Республики Беларусь от 24.05.1999 г. № 01-4/78.

**Плодородный слой почвы** — верхняя гумусированная часть почвенного профиля, обладающая благоприятными для роста растений химическими, физическими и биологическими свойствами. Плодородный слой почвы может храниться в отвалах в течение 20 лет. На участках, занятых лесом, плодородный слой почвы мощностью менее 10 см не снимается.

Расчет ширины полосы для снятия растительного грунта выполняют по ширине подошвы насыпи плюс по 2 м с каждой стороны. Для разбивки границ срезки используют вешки высотой 1,5 м, устанавливаемые через 20...25 м. Срезанный слой плодородной почвы укладывают в отвалы, а в дальнейшем используют при укреплении откосов земляного полотна или распределяют на разделительной полосе.

Эту операцию выполняют с помощью бульдозеров или скрепоров. Рабочая схема движения землеройной машины при снятии и складировании плодородного слоя зависит от ширины полосы и выбранного способа — поперечного или продольно-поперечного (рис. 3.4). Растительный слой снимается на пашне, лугах, выгонах.

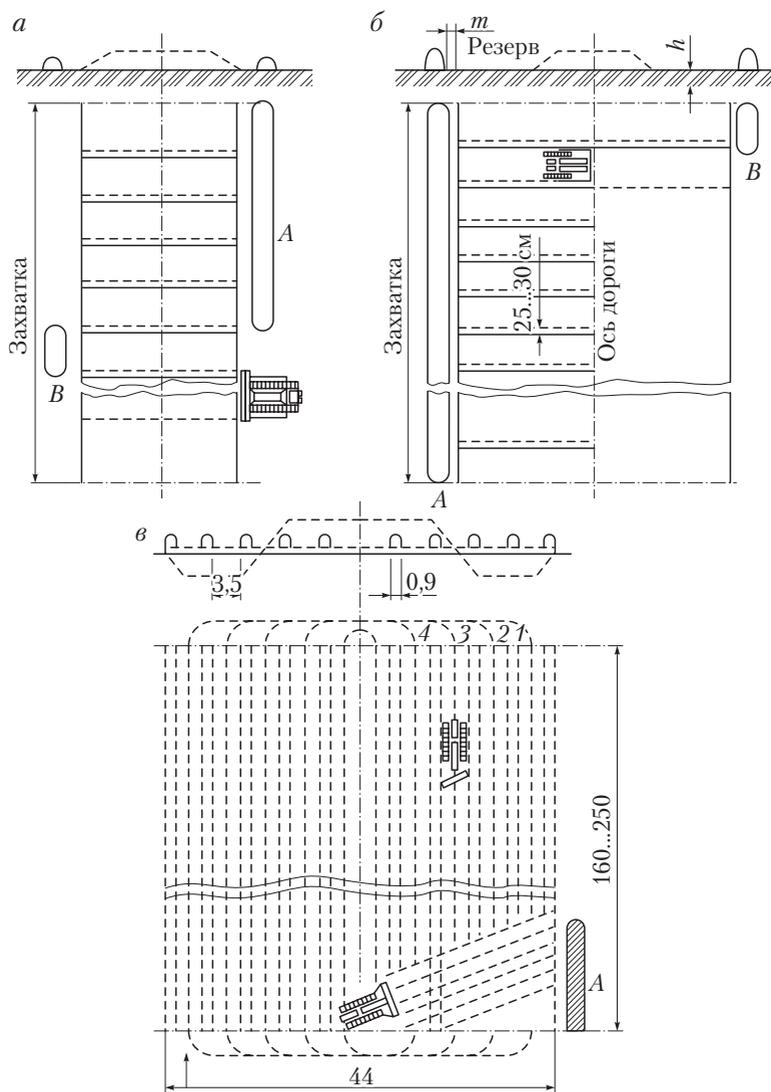


Рис. 3.4. Схемы снятия плодородного слоя почвы:

*a* – поперечным способом при ширине полосы до 25 м; *б* – поперечным способом при ширине полосы более 25 м; *в* – продольно-поперечным способом; *A, B* – вал растительного грунта; *m* – расстояние, обеспечивающее продольный проход землеройных машин; *h* – толщина слоя; 1, 2, 3, 4 – продольные и косые проходы автогрейдера

Толщина снимаемого слоя на задернованных участках составляет 8...12 см, на пахотных землях — 15...18 см, на залесенных участках — 15...20 см.

При возведении насыпей из боковых резервов или высоких насыпей, а также при разработке глубоких выемок, когда дорожная полоса имеет ширину 25...40 м и более, срезку и перемещение почвы следует производить сначала с одной половины полосы, начиная зарезание от оси дороги, а затем с другой ее половины (рис. 3.4, б).

При больших объемах работ по снятию почвенного слоя (толстый слой, большая ширина дорожной полосы) сначала производят срезку почвы автогрейдером в продольные валы, из которых грунт перемещают косыми проходами бульдозера за пределы дорожной полосы (рис. 3.4, в).

**Разбивка элементов земляного полотна** относится к геодезическим работам, связанным с нанесением и закреплением на местности основных точек, определяющих поперечные размеры будущих насыпей (границы их подошвы) и верхние бровки выемок с учетом уклона местности, расположения боковых канав и резервов. Разбивку выполняют на основании имеющихся проектных материалов (продольного профиля, поперечных профилей насыпей и выемок, а также плана дороги). 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 (рис. 3.5).

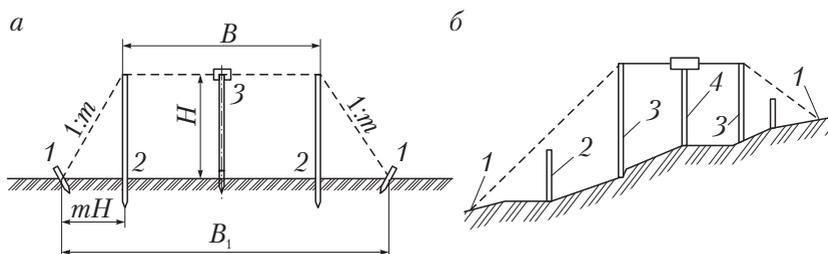


Рис. 3.5. Разбивка насыпи земляного полотна:

а — на горизонтальном участке (1 — колья; 2 — вешки; 3 — визирка); б — на косогоре (1 — искомые точки; 2 — приспособление для разбивки; 3 — вешки; 4 — визирка)

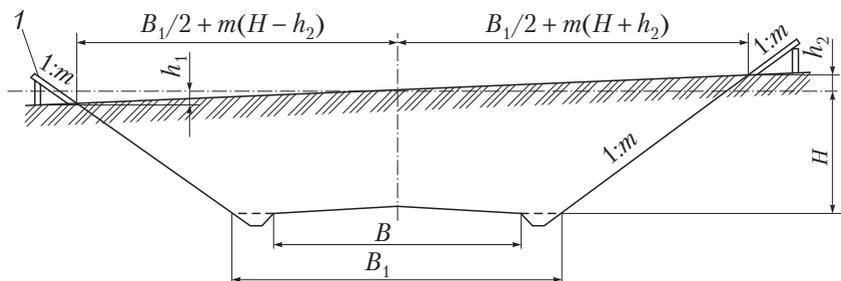


Рис. 3.6. Разбивка выемки:

1 — откосное лекало;  $B$  — ширина земляного полотна;  $B_1$  — ширина дорожно-го полотна с кюветами;  $h_1$  — превышение осевой точки над нижней поверхностью выемки;  $h_2$  — превышение верхней точки поверхности выемки над осевой точкой

Ширину выемки определяют, откладывая от оси дороги половину ширины земляного полотна, ширину кювета поверху и заложения откоса (рис. 3.6).

На склонах разбивку производят путем установления границ откосов (рис. 3.7) по формулам

$$l'_H = \frac{\frac{B}{2} + mH}{1 - \frac{m}{n}}; \quad l''_H = \frac{\frac{B}{2} + mH}{1 + \frac{m}{n}};$$

$$l'_B = \frac{\frac{B}{2} + mH + K}{1 + \frac{m}{n}}; \quad l''_B = \frac{\frac{B}{2} + mH + K}{1 - \frac{m}{n}},$$

где  $l'_H$  — расстояние по горизонтали от оси насыпи до подошвы со стороны низового откоса;  $l''_H$  — то же со стороны верхового откоса;  $l'_B$  — расстояние по горизонтали от выемки до бровки низового откоса;  $l''_B$  — то же до бровки верхового откоса;  $B$  — ширина зем-

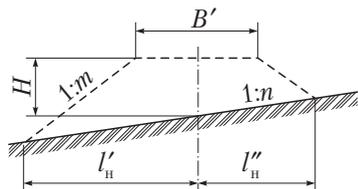


Рис. 3.7. Разбивка насыпи на косогоре

ляного полотна;  $m$  — заложение откоса;  $n$  — уклон местности;  $H$  — высота насыпи или глубина выемки;  $K$  — ширина кюветы.

Учитывая, что насыпь и выемка представляют собой трапеции, ширина земляного полотна будет больше ширины дорожного полотна и определяется из выражения

$$B' = B + 2hm,$$

где  $B'$  — ширина земляного полотна без дорожной одежды;  $B$  — проектная ширина дорожного полотна (земляное полотно с дорожной одеждой);  $h$  — толщина дорожной одежды.

Насыпь отсыпается ниже проектной отметки на величину  $X$  (рис. 3.8):

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

где  $a$  — проектная ширина обочины, см;  $i_0$  и  $i_k$  — величина уклона обочины и верхней части земляного полотна.

**Водоотводные и осушительные работы** — комплекс мероприятий по отводу от земляного полотна инфильтрационных, поверхностных, близко залегающих к поверхности подземных вод. Эти работы связаны с обеспечением стока воды за пределы полосы отвода за счет продольного и поперечного уклонов местности, кюветов, дренажей, лотков, поглощающих колодцев, прослоек дренирующего грунта или синтетического материала. Устройство подземного водоотвода выполняют до возведения земляного полотна. До начала разработки выемок прорывают нагорные каналы. В неблагоприятных районах строительства предварительно производят

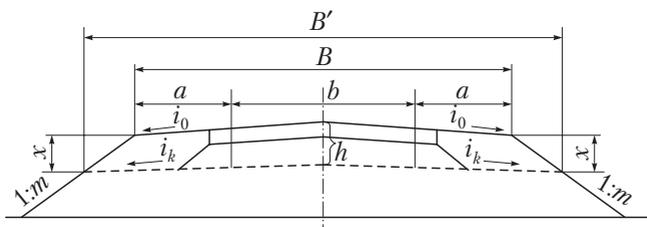


Рис. 3.8. Схема для определения ширины земляного полотна:  $a$  — обочина;  $b$  — проезжая часть;  $h$  — толщина дорожной одежды

осушение болот, а возведение насыпи начинают с разработки резервов и канав.

**Подготовка основания** заключается в выравнивании, планировке и уплотнении поверхности. Причем термин «основание» относится к различным частям дорожной конструкции. *Естественное основание* — это основание, сложенное из прочных грунтов естественного залегания и служащее основанием для земляного полотна. *Дорожное основание* является нижним несущим слоем дорожной одежды, воспринимающим нагрузку от дорожного покрытия и перераспределяющим ее на дополнительный слой или непосредственно на грунт земляного полотна.



### 3.3. Внеплощадочные работы

К внеплощадочным относятся работы по строительству временных дорог и сооружению производственных баз.

**Временные дороги** — дороги (подъездные и внутриобъектные), обеспечивающие выполнение необходимого объема перевозок для нужд строительства и построенные для движения построечного транспорта на период строительства основной магистрали. Временная дорога может иметь различное функциональное назначение: она может быть объездной — тогда покрытие устраивается вплоть до капитального, а ширина дорожного полотна при двухстороннем движении может быть до 9 м, а может иметь технологическое назначение для подвоза материалов (щебень, песок), конструкций для мостов и дорожных труб — тогда строится грунтовая дорога или с покрытием из сборных плит (это обычно дорога категории VI). Категорию дороги и тип покрытия назначают на основе ожидаемой интенсивности движения с учетом срока их службы.

Ширина проезжей части временных дорог для автомобилей-самосвалов грузоподъемностью до 20 т должна быть: при двухстороннем движении 7,0 м, при одностороннем 4,0 м. Ширина обочин должна быть не менее 1 м. На дорогах, проложенных по косогорам, ширина обочин составляет с нагорной стороны 0,5 м, с подгорной — 1 м. Продольный уклон землевозных дорог не должен превышать 80 ‰. При затяжных уклонах более 80 ‰ через каждые

600 м устраивают вставки длиной 50 м с уклоном не более 30 %. После окончания эксплуатации все временные дороги должны быть рекультивированы путем выравнивания под общий уровень окружающей местности и засыпки слоем растительного грунта.

**Строительство дорожных производственных предприятий** — производственный процесс по созданию временно и постоянно действующих предприятий, выпускающих продукцию для дорожной отрасли. Такое строительство производится по индивидуальным или типовым проектам, предусматривающим заложение фундаментов, монтаж зданий и производственного оборудования, создание энергетической, коммуникационной инфраструктуры на отведенных площадях, обеспечивающих безопасные условия труда с соблюдением мероприятий по охране окружающей среды. Такими предприятиями являются асфальтобетонные, цементобетонные, камнедробильно-сортировочные заводы, полигоны железобетонных изделий, базы битумные и эмульсионные и др.

Особое место среди них занимают *карьеры* — предприятия для добычи и переработки горных пород, используемых для возведения земляного полотна, получения щебня, гравия, песка, обогащения и создания смесей на основе вяжущих материалов. Карьеры подразделяются на притрассовые (временные), располагаемые вблизи строящегося объекта, и промышленные (базисные), добывающие горную породу на крупных месторождениях с большим запасом.

Строительство административных зданий, жилых домов осуществляется по типовым технологиям, разработанным для гражданских объектов.

### 3.4. Определение объемов и расчет ресурсов подготовительных работ



Определение объемов подготовительных работ осуществляется с учетом их технологической последовательности.

Работы по расчистке полосы отвода включают следующие операции: рубку деревьев, корчевку пней, засыпку ям после корчевки, срезку и удаление кустарника, снятие растительного слоя почвы. Объем работ рассчитывается с учетом ширины полосы отвода или ширины подошвы земляного полотна и длины участков, занимаемых

лесом, кустарником, пашней, лугом и т.д. В результате составляют ведомость объемов, включающую следующие виды работ: валку деревьев, трелевку, разделку хлыстов, корчевку пней, расчистку трассы от кустарника, засыпку ям, снятие растительного слоя.

Расчет необходимых ресурсов для выполнения подготовительных работ производят по НРР 8.03.101–2012 «Нормативы расхода ресурсов в натуральном выражении на строительные конструкции и работы. Сборник 1. Земляные работы». По нормативам расхода ресурсов рассчитывают объемы работ на *валку леса, корчевку пней* и *расчистку площадей* от кустарника и мелколесья в зависимости от их густоты, крупности деревьев и числа деревьев на 1 га. По этому же сборнику принимают *нормы расхода затрат труда рабочих* (чел.-ч) и *нормы эксплуатации машин* (маш.-ч) для конкретных механизмов с определенной мощностью. В результате умножения объемов на нормы времени получают требуемое количество человеко-часов или машиночасов, необходимых для выполнения объема работ данного вида:

Требуется (чел.-ч, маш.-ч) = Объем · Норма времени.

Количество смен, необходимых для выполнения подготовительных работ ( $D_{п,р}$ ), определяют по формуле

$$D_{п,р} = D_{р,с} (0,06...0,1),$$

где  $D_{р,с}$  — количество рабочих смен, необходимых для выполнения заданного объема строительно-монтажных работ с учетом выходных и праздничных дней, дней простоев машин по непредвиденным причинам, неблагоприятных дней по метеословиям.

Для определения числа смен полезной работы, в течение которых должен быть построен объект, необходимо учесть выходные и праздничные дни, дни простоев по непредвиденным и климатическим обстоятельствам, простоев машин во время ремонта и технического обслуживания (ТО). Количество рабочих смен определяют из выражения

$$D_{р,с} = D_p K_{см},$$

где  $D_p$  — число рабочих дней;  $K_{см}$  — коэффициент сменности.

Количество рабочих дней определяют из выражения

$$D_p = D_k - (D_1 + D_2 + D_{\text{п}} + D_{\text{рем}}),$$

где  $D_k$  — число календарных дней;  $D_1$  — количество дождливых дней;  $D_2$  — количество выходных и праздничных дней;  $D_{\text{п}}$  — число дней простоев машин по непредвиденным причинам;  $D_{\text{рем}}$  — затраты на проведение ТО и ремонта.

Число дождливых, праздничных и выходных дней

$$D = D_1 \left( 1 - \frac{D_2}{D_k} \right).$$

Простой при проведении ТО и ремонта

$$D_{\text{рем}} = \frac{(D_k - D_{\text{п}})K_{\text{см}}\Pi_{\text{см}}P_2}{1 + K_{\text{см}}\Pi_{\text{см}}P_2},$$

где  $D_{\text{п}}$  — сумма дней простоев по всем причинам, кроме ТО и ремонта ( $D_{\text{п}} = D_1 + D_2 + D_{\text{п}}^{\text{и}}$ );  $K_{\text{см}}$  — коэффициент сменности;  $\Pi_{\text{см}}$  — продолжительность смены;  $P_2$  — количество дней нахождения машин в ремонте, приходящихся на 1 ч работы машин.

*Количество рабочих-строителей*, выполняющих отдельные операции, или количество машин, задействованных при выполнении данного вида работ, определяют путем деления общей трудоемкости на количество смен и продолжительность смены:

$$N (\text{чел., маш.}) = \frac{\text{Требуется (чел.-ч, маш.-ч)}}{D_{\text{пр}}t},$$

где  $t$  — продолжительность смены.

Ширину полосы отвода, необходимую для определения площади проведения подготовительных работ, принимают в зависимости от категории дороги.

*Ширину полосы снятия растительного слоя* определяют в зависимости от ширины земляного полотна по низу, с учетом полосы с каждой стороны, необходимой для прохода землеройной техники.

На основании выполненного расчета ресурсов комплектуют специализированные звенья.

## СТРОИТЕЛЬСТВО СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА



### 4.1. Канавы и кюветы открытого водоотвода

---

Под *водно-тепловым режимом земляного полотна* понимают состояние грунта земляного полотна, зависящее от влажности и температуры, изменяющихся в течение года под действием выпадающих осадков, температуры окружающей среды и непосредственного воздействия солнечной радиации. Избыток влаги в грунтах приводит к снижению прочности, возникновению процессов набухания. Снижение влажности меньше оптимального значения, которое может возникнуть при летнем нагреве, вызывает повышенную сыпучесть песчаных грунтов или образование агрегатов в пылевато-глинистых грунтах. Отрицательная температура может привести к морозному пучению грунтов, высокая положительная температура — к возникновению осадки, просадки, деформации покрытия и другим отрицательным факторам. Поэтому очень важно обеспечить земляному полотну по возможности постоянное содержание оптимального количества воды в порах грунта и его защиту от температурного воздействия, особенно от отрицательных температур.

Для отвода воды от поверхности земляного полотна придается поперечный уклон, который обеспечивает стекание воды, выпавшей в виде осадков, от оси дороги к обочинам и далее по откосу или лоткам к подножию земляного полотна, где она перехватывается боковыми канавами и отводится от дорожной конструкции

в пониженные места. На дорогах высокой технической категории разделительной полосе между полосами движения придается уклон к центральной части, где располагается водоприемник, собирающий и отводящий по подземным галереям или дренажам воду за пределы земляного полотна.

При отсыпке насыпи необходимо соблюдать требования по расположению разнородных грунтов горизонтальными слоями: грунтам с низким коэффициентом фильтрации придавать двухскатный профиль с уклоном до 40 ‰, а грунты с высоким коэффициентом фильтрации (более 2 м/сут.) располагать в верхней части земляного полотна и на откосах.

**Кювет** — боковая водоотводная канава, устраиваемая непосредственно вдоль подошвы земляного полотна. Имеет трапециевидное сечение глубиной 0,7...1,0 м с откосами крутизной 1:1,5 в песчаных грунтах и 1:2 в глинистых. Ширина кювета по дну 0,4...0,5 м, минимальный продольный уклон 5 ‰, максимальный в супесчаных грунтах 20 ‰, в суглинистых — 40 ‰. Выпуск воды из кюветов осуществляется в пониженные места окружающей местности. Кюветы у подошвы насыпи устраивают сразу после снятия плодородного слоя, в выемках одновременно с удалением недобора.

**Канавы** (нагорная) устраивается с нагорной стороны дороги для перехвата стекающей по склону воды и отвода ее от дороги (рис. 4.1). Строительство земляного полотна начинают со строительства нагорных канав и ограждающих валов. Канавы глубиной от 0,3 до 0,7 м нарезают автогрейдерами, от 0,7 до 1,5 м — канаво-

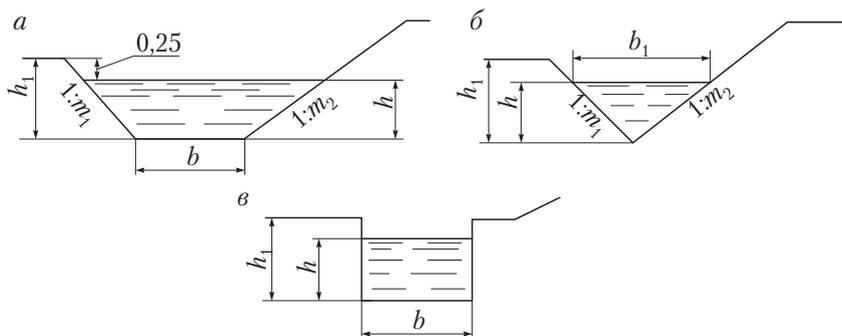


Рис. 4.1. Поперечное сечение дорожных водоотводных канав:  
 а — трапециевидное; б — треугольное; в — прямоугольное

копателями, от 1,5 до 3,0 м — экскаватором обратная лопата или драглайном.

Технология работ по устройству канав включает следующие операции:

- 1) обозначение канавы вехами;
- 2) проведение крайней борозды автогрейдером;
- 3) перемещение грунта в насыпь поперечным резанием бульдозера;
- 4) окончательная планировка откосов автогрейдером, снабженным откосниками.

Сразу после устройства канав их боковые поверхности укрепляют путем посева многолетних трав (при скорости течения воды до 0,8 м/с). Наиболее надежный способ укрепления канав и кюветов — это укладка геотекстильного материала с закрепленными в нем семенами.

К водоотводным сооружениям, служащим для отвода поверхностных вод, кроме канав и кюветов, относятся железобетонные лотки различных типов.

## 4.2. Перехватывающий и подкюветный



### дренаж

**Дренажные устройства** — комплекс сооружений, предназначенных для понижения уровня и сбора грунтовых вод с их отводом от земляного полотна. Различают дренаж *горизонтальный* (трубчатый, сплошная прорезь, дренажная галерея, горизонтальные скважины — дрены) и *вертикальный* (забивные и сквозные фильтры, колодцы, сифонный дренаж).

Если дренажные устройства укладывают выше водоупора глубокого залегания, то они относятся к *несовершенному* дренажу, если на поверхность или ниже водоупора при неглубоком его залегании для полного перехвата подземных вод — к *совершенному*.

**Трубчатый дренаж** — водоотводное устройство закрытого типа, состоящее из полых элементов (труб) с перфорированными или пористыми стенками для отвода воды. При укладке в траншею дренажных труб в них протягивают проволоку, необходимую для их последующей прочистки. Концы проволоки закрепляют

в смотровых колодцах. Для наблюдения за работой дренажа и прочистки труб через каждые 50...80 м, а также на всех переломах дренажа в плане и продольном профиле устраивают смотровые колодцы из звеньев железобетонных труб диаметром 1 м. При устройстве совершенного дренажа поверх уложенных дренажных труб на высоту 40 см засыпают гравий или щебень (сначала фракции 40...70 мм, а потом 5...10 мм), который покрывают нетканым материалом для предотвращения заиливания и проникновения песка в пустоты щебня, затем до уровня грунтовых вод засыпают средним или крупным песком.

**Дренажные прорези** — тип совершенного дренажа для дренирования подземных вод в верхней части косогора. Их заглубляют в водоупор при глубине перехвата водоносного слоя до 3 м и располагают перпендикулярно к направлению перехватывающих потоков подземных вод

Дренажные прорези устраивают на болоте для повышения устойчивости земляного полотна и снижения величины осадки при уплотнении грунта под весом насыпи. Технология устройства дренажных прорезей включает следующие операции:

1) с помощью экскаватора вырывают продольные каналы, которые засыпают дренирующим песком;

2) сверху насыпают слой песка, который опирается на эти прорези и служит основанием земляного полотна на болоте.

Между песчаным слоем и прорезями может расстилаться нетканый синтетический материал, который сохраняет однородность отсыпанного слоя.

**Подкюветный дренаж** — горизонтальный закрытый совершенный дренаж, устраиваемый под основание кювета для понижения

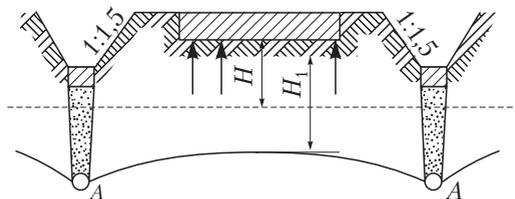


Рис. 4.2. Схема устройства подкюветного двухстороннего совершенного дренажа:

$A$  — кривая депрессии;  $H$  — расстояние от основания дорожной одежды до уровня грунтовых вод до прокладки дренажа;  $H_1$  — после прокладки дренажа

уровня грунтовых вод (рис. 4.2). Такой дренаж обычно устраивают в глубоких выемках, когда грунтовые воды располагаются близко к рабочему слою земляного полотна.

Закрытый дренаж состоит из перфорированной трубы (гончарной, бетонной, пластмассовой или из другого материала), обернутой в водопроницаемый материал во избежание засорения отверстий, которая укладывается на дно траншеи и обсыпается крупнообломочным материалом. Сверху засыпается слой песка, по поверхности которого укладывают тонкий слой водонепроницаемого материала, или слой глинистого материала, или битумную пленку (норма розлива 4...5 л/м<sup>2</sup>). Частным случаем закрытого дренажа является подкюветный дренаж (рис. 4.3).

Технология устройства дренажа для перехвата грунтовых вод включает следующие операции:

- 1) закрепление оси будущей траншеи;
- 2) снятие дерна на полосе будущего дренажа;
- 3) отрывка траншей на глубину до водоносного горизонта с применением траншейного экскаватора (при глубокой траншее и неустойчивых грунтах необходима установка креплений стенок с распорками);
- 4) укладка подушки;
- 5) устройство глиняного экрана;
- 6) укладка труб с обертыванием стыков фильтровальной тканью;
- 7) засыпка крупнозернистым песком;
- 8) укладка глинистого слоя с уплотнением;
- 9) засыпка местным грунтом с уплотнением;
- 10) укладка дернового слоя.

**Закюветный дренаж** также относится к горизонтальному закрытому совершенному дренажу и имеет такую же конструкцию (рис. 4.4), но в отличие от подкюветного устраивается под откосом выемки, когда уровень грунтовых вод может превышать уровень основания кювета и вода будет просачиваться из нижней части откоса.

**Откосный дренаж** устраивают на откосе выемки для предупреждения сползания водонасыщенного грунта по откосу, при выходе водоносных слоев на поверхность откоса после разработки выемки. Схема устройства откосного дренажа представлена на рис. 4.5.

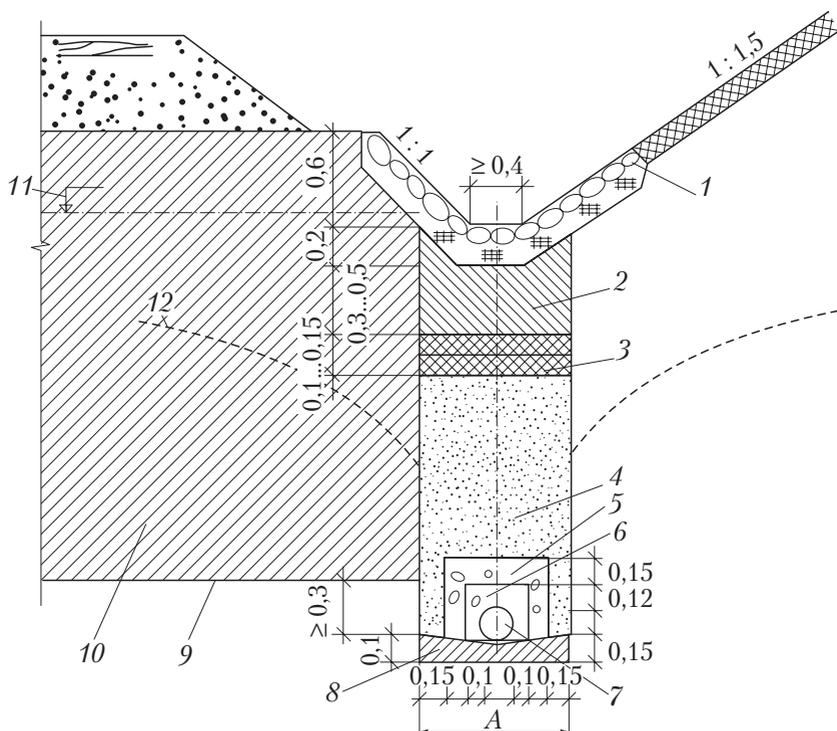


Рис. 4.3. Конструкция подкуветного дренажа:

1 — укрепление кювета; 2 — утрамбованный глинистый грунт; 3 — слой мягкой глины; 4 — среднезернистый песок; 5 — гравий фракции 5...10 мм; 6 — щебень фракции 40...70 мм; 7 — дренажная труба диаметром 15...20 см; 8 — основание, уплотненное трамбованным щебнем; 9 — водоупорный слой; 10 — супесь пылеватая; 11 — горизонт воды до устройства дренажа; 12 — кривая депрессии

Откосный дренаж целесообразно размещать на полке после разработки соответствующего яруса выемки. Для отвода воды на полках устраивают лотки из сборных железобетонных элементов. Технология устройства:

- 1) роют траншею глубиной 0,5 м;
- 2) дно и откосы траншеи изолируют;
- 3) в траншею укладывают перфорированные трубы;
- 4) отсыпают проектные слои откосного дренажа;
- 5) планируют верхний защитный слой;
- 6) укрепляют верхний слой гидропосевом трав.

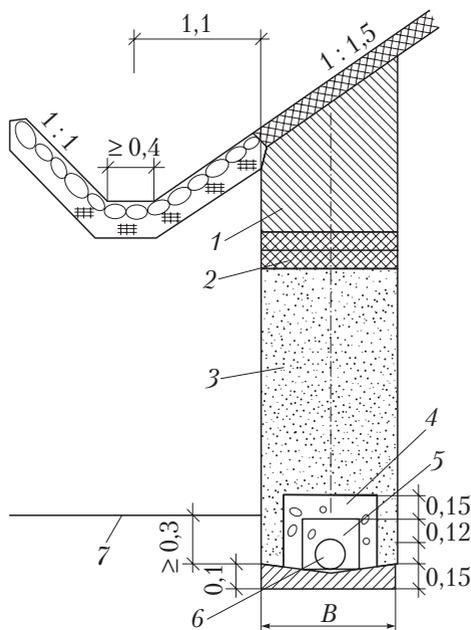


Рис. 4.4. Конструкция заковетного дренажа:

1 – утрамбованный глинистый грунт; 2 – два слоя дерна корнями вверх или слой мягкой глины; 3 – среднезернистый песок; 4 – гравий размером 5...10 мм; 5 – щебень размером 40...70 мм; 6 – дренажная труба диаметром 15...20 см; 7 – водоупорный слой

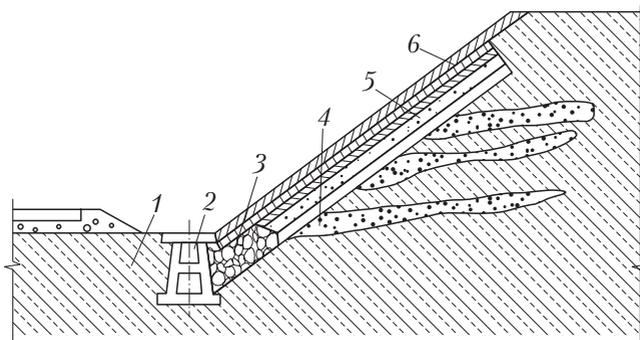


Рис. 4.5. Схема устройства откосного дренажа в выемке:

1 – суглинок; 2 – железобетонный лоток; 3 – наброска из камня; 4 – водонесный песок; 5 – откосный дренаж; 6 – одерновка или геотекстиль



Таким образом, устройство поверхностного и глубинного водоотводов способствует улучшению водно-теплового режима земляного полотна и, как следствие, повышению его устойчивости и долговечности.



### 4.3. Дренарующие, гидроизолирующие и капилляропрерывающие прослойки

**Дренарующий слой** — дополнительный конструктивный слой из дренарующих грунтов или материалов, обеспечивающий отвод грунтовой воды и осушение земляного полотна.

**Изолирующая прослойка** — дополнительный конструктивный водонепроницаемый слой, устраиваемый в земляном полотне при невозможности обеспечения необходимого расстояния между дорожной одеждой и уровнем грунтовых вод. Прослойки могут быть сплошные (толщиной 3...8 см), замкнутые (в обойме), капилляропрерывающие (толщиной 10...15 см). Гидроизолирующие и капилляропрерывающие прослойки устраивают: для снижения высоты насыпи на отдельных участках дороги; снижения объема земляных работ; уменьшения толщины морозозащитного и дренающего слоев; уменьшения толщины основания дорожной одежды.

**Гидроизолирующая прослойка** — конструктивный элемент, защищающий грунт земляного полотна или слои дорожной одежды от воздействия инфильтрационных и грунтовых вод (рис. 4.7). Во избежание переувлажнения земляного полотна от атмосферных осадков ее устраивают под дорожной одеждой или на глубине не менее 1,2 м от верха покрытия на всю ширину земляного полотна. Если увлажнение рабочего слоя происходит одновременно от инфильтрационных и грунтовых вод, то устраивают две гидроизолирующие прослойки (обойму).

Для устройства гидроизолирующих и капилляропрерывающих прослоек применяют:

- грунты, обработанные вяжущими (битумом, цементом и др.);
- изол;
- полиэтиленовую пленку толщиной 0,2 мм;
- нетканые синтетические материалы, пропитанные битумом;

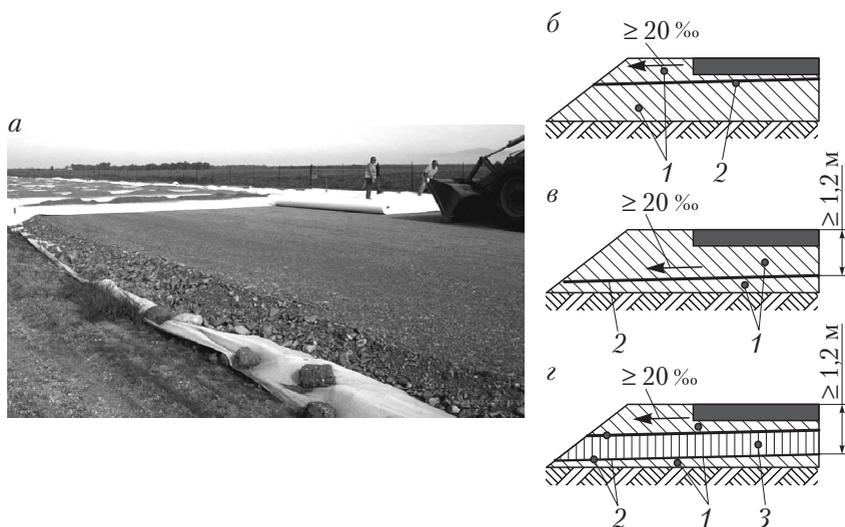


Рис. 4.7. Устройство гидроизолирующей прослойки (а) и конструкции земляного полотна с гидроизолирующими прослойками:

б — под дорожной одеждой на всю ширину земляного полотна; в — на глубине не менее 1,2 м от верха покрытия, но не ниже 0,2 м от поверхности земли; з — обойма, состоящая из двух прослоек; 1 — глинистый грунт; 2 — гидроизолирующий материал; 3 — грунт пониженной влажности в обойме

- пластиковые мембраны и др.;
- слои гравия и щебня толщиной 0,10...0,15 м.

Укладку рулонного материала необходимо начинать с низовой стороны, с перемещением в сторону возвышенной части, причем каждый последующий слой должен быть наложен на предыдущий не менее чем на 10 см. Отдельные полосы рулонного материала склеивают или сваривают между собой.

При укладке рулонов синтетического материала на всю ширину земляного полотна выполняют следующие технологические операции (рис. 4.8):

- 1) планировка верха земляного полотна и доуплотнение грунта гладковальцовыми катками;
- 2) укладка и соединение полотен синтетического материала;
- 3) доставка грунта на объект и выгрузка его на участок без синтетических полос или там, где грунт уже распределен по поверхности синтетических полос;

№ сменных захваток	I	II	III	IV
Наименование процессов	Планировка верха земляного полотна	Укладка и соединение полотен синтетического материала	Транспортировка и разравнивание песка	Уплотнение песка с увлажнением
№ процессов	1	2,3	4,5	6,7
№ звеньев	1	2	3	4
Длина захватки, м	240	240	240	240
Длина специализированного потока, м	960			
Направление потока	←			
Машины, потребляемые на каждую смену, и их загрузка	Автогрейдер Д-557(0,09)	Установка для соединения полотен (0,93) № 1	Автомобили-самосвалы ЗИЛ-555 (1,0), бульдозер Д-493 (0,48)	Поливочная машина ПМ-130 (0,31), каток Д-263 (0,96)
План потока				

Рис. 4.8. Технологическая схема укладки синтетических полос

4) передвижка грунта бульдозером на синтетические полосы слоем 0,3...0,5 м (достаточен для предохранения синтетического материала от разрыва);

5) профилирование и уплотнение грунта.

При устройстве гидроизолирующей прослойки из битумогрунта поверхность обрабатываемого грунтового слоя профилируют. Обработку слоя толщиной не менее 8...10 см выполняют дорожной фрезой или однопроходной грунтосмесительной машиной.

*Капиллярность* — физическое свойство грунтов поднимать вверх по тонким порам (капиллярам) воду в направлении, противоположном направлению действия силы тяжести, за счет поверхностного натяжения. Мерой капиллярности является высота капиллярного поднятия. Для ограничения влаги в верхних слоях земляного полотна, поступающей в результате подсосывания воды снизу (от уровня грунтовых вод), необходимо обеспечить достаточное возвышение бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод или исключить капиллярный подсос воды путем устройства капилляропрерывающих прослоек (из крупнозернистого материала, геотекстильного материала).

**Капилляропрерывающая прослойка** — дополнительный конструктивный водонепроницаемый слой, препятствующий поднятию по порам грунта природных (грунтовых) вод от нижних горизонтов к верхним. Капилляропрерывающую прослойку устраивают для ограничения притока влаги в верхние слои земляного полотна от грунтовых или поверхностных вод (рис. 4.9).

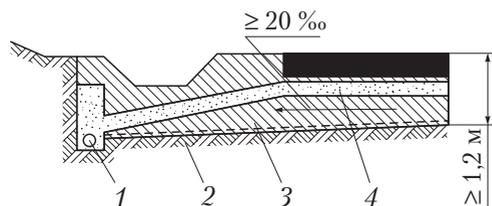


Рис. 4.9. Дорожная одежда с капилляропрерывающей прослойкой:  
1 — трубчатый дренаж;  
2 — глинистый грунт;  
3 — капилляропрерывающая прослойка; 4 — песок

Устройство гидроизолирующих и капилляропрерывающих прослоек предусматривают на участках дороги, где технически невозможны или экономически нецелесообразны традиционные мероприятия по регулированию водного режима грунтов земляного полотна и где имеется опасность пучинообразования.

## ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОЖНЫХ ТРУБ



### 5.1. Характеристика дорожных труб

---

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

**Труба** — инженерное сооружение, укладываемое в теле насыпи автодороги для пропуска ливневых и талых вод, скотопрогона, а также небольших постоянно действующих водотоков с расходом воды до 100...130 м<sup>3</sup>/с.

Трубы различаются:

- по материалу: бетонные, железобетонные, металлические, пластмассовые гладкие и гофрированные, каменные, деревянные;
- форме поперечного сечения: круглые, прямоугольные, овальные, треугольные (рис. 5.1);
- числу отверстий: одно-, двух- и многоочковые;
- режиму работы: безнапорные, работающие на всем протяжении неполным сечением; полупонапорные, работающие вблизи входа полным сечением, а на остальном протяжении — неполным; напорные — затопленные по всей длине (рис. 5.2).

**Отверстием** трубы называется ее внутренний диаметр (для круглой трубы) или внутреннее расстояние между боковыми стенками (для прямоугольной).

Типовые отверстия круглых короткомерных труб с длиной кольца 1 м — 0,5, 0,75, 1,0, 1,25, 1,5, 2,0 м. Круглые трубы с диаметром отверстия 0,5 м применяются на внутрихозяйственных

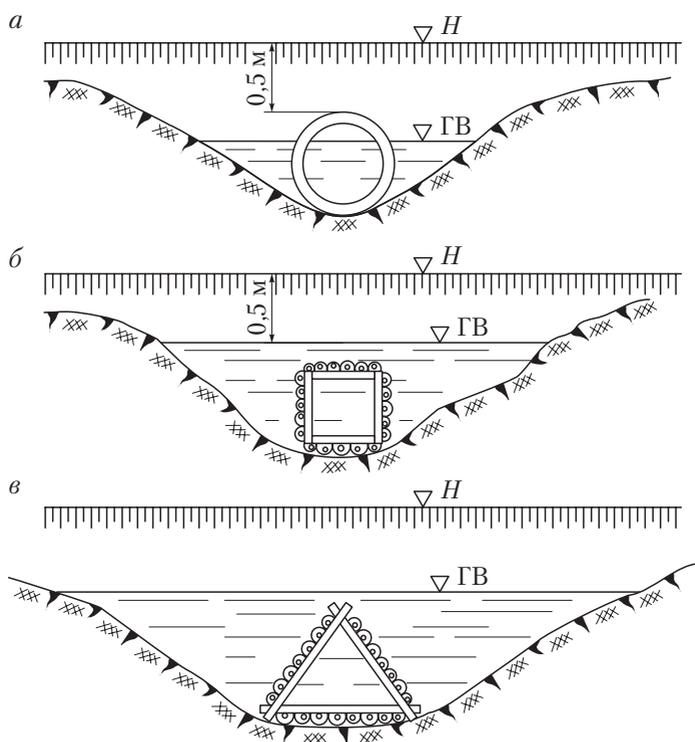


Рис. 5.1. Поперечное сечение водопропускных труб:  
 а — круглой трубы (безнапорной); б — прямоугольной (напорной);  
 в — треугольной (напорной)

дорогах при длине не более 10 м и уклоне не менее 10 %, 0,75 м — при длине более 15 м, 1,0 м — при длине не более 30 м.

Прямоугольные трубы имеют отверстия 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6 м.

Труба как инженерное сооружение состоит из тела и двух оголовков: входного и выходного (рис. 5.3). *Тело* трубы представляет собой сборную конструкцию, располагаемую под определенным уклоном в грунте насыпи и состоящую из полых звеньев, по которым протекает вода.

По концам трубы устраивают *оголовки* — как правило, монолитные бетонные элементы, фиксирующие звенья трубы, удерживающие насыпь от обрушения и обеспечивающие проток воды.

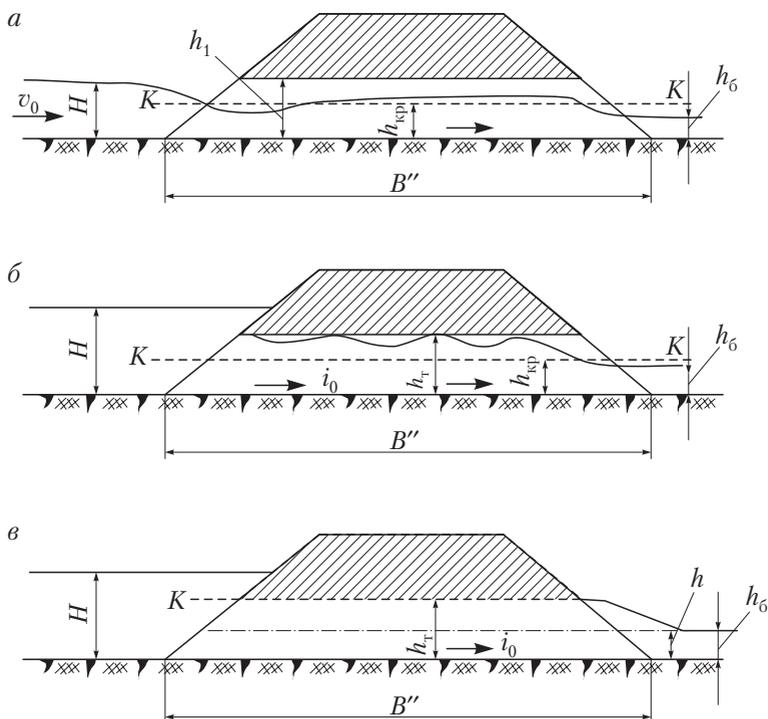


Рис. 5.2. Режимы работы трубы:

*a* – безнапорные; *б* – полунанпорные; *в* – напорные;  $v_0$  – скорость воды до трубы;  $K$  – положение критической глубины воды;  $H$  – напор воды перед трубой;  $h_r$  – высота трубы;  $h_б$  – бытовая глубина водотока;  $h_{кр}$  – критическая глубина водотока;  $h$  – высота середины трубы;  $B''$  – ширина земляного полотна понижу;  $i_0$  – уклон трубы

Входной оголовок – элемент трубы в верховой ее части, предназначенный для приема воды и предотвращающий размыв насыпи. Выходной оголовок – элемент в низовой части трубы, предназначенный для отвода воды от земляного полотна и предотвращающий размыв основания у выходного отверстия. Возле выходного отверстия трубы русло также укрепляется от размыва с помощью вяжущих материалов, бутовой засыпки или бетонных блоков.

Наиболее распространенные типы оголовков приведены на рис. 5.4.

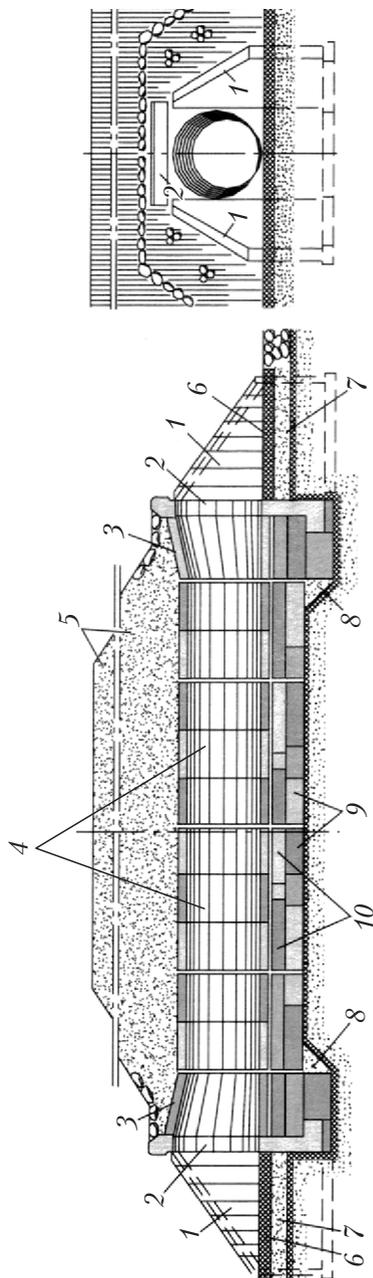


Рис. 5.3. Конструкция типовой сборной железобетонной трубы:

1 — раскрылки оголовков; 2 — порталные звенья оголовков; 3 — конические звенья; 4 — цилиндрические звенья; 5 — насыпь; 6 — монолитный бетонный лоток; 7 — гравийно-песчаная подушка; 8 — щебеночная подготовка, залитая цементным раствором; 9 — блоки фундамента; 10 — лекальные блоки фундамента

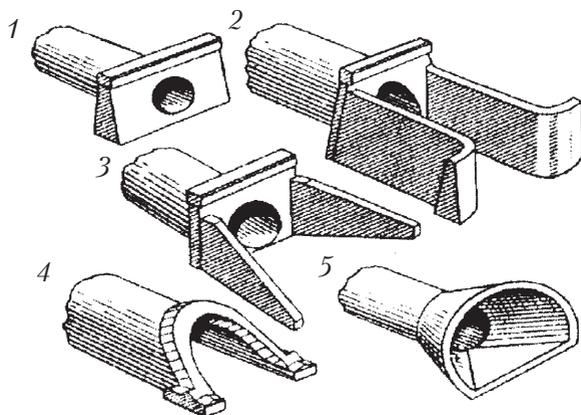


Рис. 5.4. Типы оголовков:

- 1 – порталный; 2 – коридорный; 3 – раструбный; 4 – воротниковый;  
5 – обтекаемый

На входном и выходном отверстиях трубы устраивают противофильтрационные экраны, предотвращающие фильтрацию воды под телом или фундаментом трубы.

Длинномерные трубы проектируют без оголовков.



## 5.2. Расчет трубы

Для расчета отверстий водопропускных труб в РУП «Белгипродор» применяется программа PRINT. Для автоматизированного проектирования водопропускных труб используют программу TRUBA.

Труба характеризуется:

- высотой (прямоугольная) или диаметром (круглая);
- степенью наполнения;
- коэффициентом скорости;
- критической глубиной воды;
- критическим продольным уклоном трубы.

Расчет водопропускной трубы в ходе курсового проектирования выполняется в соответствии с методическими указаниями к курсовому проекту по дисциплине «Специальные вопросы проектирования автомобильных дорог и аэродромов» (Яцевич И.К.,

Кононова Е.И. Проект пересечения водотока. Методические указания к выполнению курсового проекта.)

*Отверстие водопропускной трубы* определяют по формулам с учетом превышения расхода талых вод (по формуле А.П. Лебедева) и ливневых вод (по методике Союздорпроекта) или по таблицам пропускной способности. Вероятность превышения паводка принимают: для дорог категории I — 1 %; категорий II и III — 2 %; категорий IV и V — 3 %; категории VI — 10 %. В настоящее время применяют железобетонные трубы типа ТВ с отверстием 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0 м.

На автомобильных дорогах проектируют водопропускные трубы с учетом безнапорного режима работы трубы. Для этого необходимо убедиться в справедливости выражения, устанавливающего зависимость между бытовой глубиной  $h_6$  (определяется по графику зависимости расхода от глубины воды в трубе) и критической глубиной  $h_{кр}$ :

$$h_6 < 1,3h_{кр}.$$

Определение отверстия трубы выполняют в следующем порядке.

1. Задаются глубиной воды перед трубой  $H$ , например 0,75; 1,0; 1,25 м и т.д.
2. Определяют объем пруда перед трубой из выражения

$$W_{пр} = \frac{(m_1 + m_2)H^3}{6J_c},$$

где  $m_1$  и  $m_2$  — крутизна склонов водосбора;  $J_c$  — уклон лога у водопропускной трубы, доли единицы.

3. Находят сбросный расход, проходящий через водопропускную трубу при уровне  $H$ :

$$Q_c = Q_{л} \left( 1 - \frac{W_{пр}}{0,7W} \right),$$

где  $Q_{л}$  — максимальный расчетный расход, м<sup>3</sup>/с (принимается наибольший из расходов от ливневых стоков или от стока, связанного с таянием снега);  $W$  — общий объем стока за паводок, м<sup>3</sup>:

$$W = 1000h_1F.$$

Здесь  $F$  — площадь водосбора, км<sup>2</sup>;  $h_1$  — слой стока при паводке, мм:

$$h_1 = 4 + 2,44F^{0,18}, \text{ мм.}$$

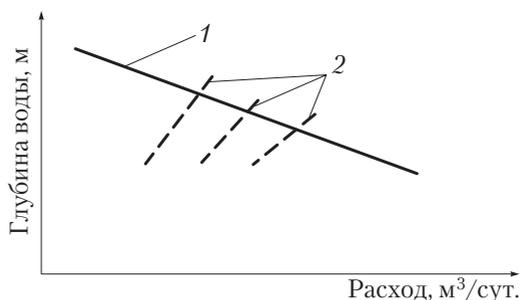


Рис. 5.5. График зависимости сбросного расхода от глубины воды (1) и пропускной способности труб с различными отверстиями (2)

4. Строят график (рис. 5.5) зависимости сбросного расхода от глубины воды перед трубой (линия 1), на который наносят кривые 2 пропускной способности труб с различным отверстием, принятым по табл. 5.1 (Яцевич И.К., Кононова Е.И. Проект пересечения водотока. Методические указания к выполнению курсового проекта).

Таблица 5.1

**Пропускная способность круглых труб**

$d$ , м	$Q$ , м/с	$h_{кр}$ , м	$h_{сж}$ , м	$J_{кр}$	$H$ , м	$V_{вых}$	
						$i \leq I_{кр}$	$i > I_{кр}$
1,00	0,50	0,40	0,36	0,001	0,64	1,4	1,7
	1,00	0,57	0,52	0,004	0,94	2,4	2,9
	1,40	0,68	0,62	0,004	1,15	2,7	3,3
	1,70	0,75	0,68	0,006	1,27	2,7	3,3
1,20	1,00	0,55	0,50	0,004	0,87	2,3	2,8
	1,50	0,66	0,60	0,005	1,10	2,7	3,2
	2,00	0,77	0,70	0,005	1,29	2,9	3,5
	2,50	0,87	0,79	0,006	1,50	3,2	3,8
	2,60	0,89	0,81	0,006	1,52	3,9	—
1,40	2,50	0,86	0,78	0,006	1,35	2,8	3,4
	2,80	0,91	0,83	0,006	1,46	3,0	3,6
	3,00	0,95	0,86	0,006	1,54	3,1	3,7
	3,50	1,03	0,94	0,007	1,67	3,2	3,9
	3,80	1,06	0,96	0,007	1,78	3,4	4,1

Окончание табл. 5.1

$d$ , м	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$h_{кр}$ , м	$h_{сж}$ , м	$J_{кр}$	$H$ , м	$V_{вых}$	
						$i \leq I_{кр}$	$i > I_{кр}$
1,60	2,50	0,80	0,73	0,004	1,31	2,9	3,5
	3,00	0,87	0,79	0,004	1,47	3,1	3,8
	3,50	0,94	0,86	0,004	1,55	3,1	3,8
	4,00	1,02	0,92	0,005	1,70	3,3	4,0
	4,50	1,08	0,98	0,005	1,82	3,5	4,2
	5,00	1,14	1,04	0,005	1,94	3,6	4,3
	5,30	1,18	1,07	0,006	2,04	3,7	4,4

5. По точкам пересечения кривых определяют сбросные расходы.

6. Делят сбросный расход на уменьшение расхода за счет аккумуляции. Если полученный результат больше 2, расчетная труба не принимается и расчет повторяется с трубой большего диаметра. Если одноочковые трубы не удовлетворяют условиям расчета, то дальнейшие вычисления повторяются с двухочковыми трубами до тех пор, пока условие не будет удовлетворено.

*Длина трубы* зависит от ширины дорожного полотна, высоты откоса насыпи и заложения откосов. Определение длины трубы выполняют в следующем порядке:

1. Определяют теоретическую длину трубы с откосом насыпи 1:1,5 из выражения

$$L_{т} = B_{д.п} + 21,5h_{о.н},$$

где  $B_{д.п}$  — ширина дорожного полотна, м (зависит от категории дороги);  $h_{о.н}$  — высота откоса насыпи, м:

$$h_{о.н} = h_{н} - i_{п} \left( c + \frac{b}{2} \right) - i_0(a_0 - c),$$

здесь  $h_{н}$  — высота насыпи, м;  $i_{п}$  — поперечный уклон проезжей части;  $i_0$  — поперечный уклон обочины, ‰;  $c$  — ширина укрепленной полосы, м;  $b$  — ширина проезжей части, м;  $a_0$  — ширина обочины, м.

2. Рассчитывают фактическую длину плиты:

$$L_{тр} = 2,5n + l_p,$$

где  $n$  — число звеньев трубы, принимается в расчете последовательно до тех пор, пока фактическая длина трубы не станет равной

теоретической или не превысит ее;  $l_p$  — длина раструба звена трубы, которая зависит от диаметра звена; при диаметре звена 0,8 м равна 0,1 м; 1,0, 1,2, 1,4, 1,6 м — 0,12 м; 2,0 м — 0,13 м.

Если расчеты показали, что фактическая длина трубы больше теоретической, то принимают длину трубы, равную фактической, отодвигая противодиффузионный экран от оси дороги на входе на величину, равную

$$\Delta l_1 = L_{\text{тр}} - L_{\text{т}}.$$

3. Находят длину верховой части трубы:

$$L_1 = \frac{0,5L_{\text{т}} + \Delta l_1}{1 + im_0},$$

где  $m_0$  — заложение откоса насыпи (1:1,5).

4. Вычисляют длину низовой части трубы:

$$L_2 = \frac{0,5L_{\text{т}}}{1 - im_0}.$$

5. Если полученное значение  $\Delta l_1$  больше 1,0 м, то его делят на 2 и отодвигают от оси дороги в сторону входа и выхода на величину

$$\Delta l_2 = 0,5(L_{\text{тр}} - L_{\text{т}}).$$

6. При смещении начала трубы от оси дороги определяют длину верховой части трубы:

$$L_1 = \frac{0,5L_{\text{тр}}}{1 + im_0}.$$

7. Рассчитывают длину низовой части трубы:

$$L_2 = \frac{0,5L_{\text{тр}}}{1 - im_0}.$$

Таким образом, исходя из максимального расчетного расхода воды и принимая определенный диаметр трубы, определяют теоретическую и фактическую длину трубы, которую изменяют по верховой и низовой частям с учетом длины кольца трубы.



### 5.3. Устройство основания

*Основанием дорожной трубы* является грунт естественного залегания со снятым слоем растительного грунта, которому придан уклон в сторону течения воды по трубе и который уплотнен до максимальной плотности.

Основанием *земляного полотна* являются грунты естественного залегания с удаленным растительным слоем или слабым грунтом до минерального основания, которым придан ровный или двускатный уклон и которые уплотнены до состояния грунта естественного залегания.

Основанием *дорожной одежды* является однослойная или многослойная дорожная конструкция, созданная из материалов, обработанных или не обработанных вяжущими веществами.

Технологический процесс по строительству железобетонной трубы (рис. 5.6) включает следующие основные операции:

- 1) разбивочные работы с выносной осей;
- 2) рытье котлована под трубу экскаватором;
- 3) устройство основания из песчано-гравийной смеси или из щебня;
- 4) доставка и сортировка блоков фундамента и звеньев труб;
- 5) установка лекальных блоков фундамента;
- 6) монтаж звеньев трубы с заделкой стыков;
- 7) устройство окрасочной и оклеечной гидроизоляции;
- 8) изготовление оголовков (если они предусмотрены проектом);
- 9) засыпка трубы грунтом с перемещением бульдозером на расстояние до 20 м;
- 10) уплотнение с послойным трамбованием (выполняют по мере отсыпки грунта).

Перед началом строительства трубы выполняют геодезические работы. Геодезическая разбивочная основа для строительства трубы включает:

- высотные реперы (при длине труб до 50 м — один репер);
- точку пересечения оси трассы дороги с осью трубы.

Реперы устанавливают на расстоянии не более 80 м от оси трассы, но за пределами земляного полотна и водоотводов.

До начала отрывки котлована производят разбивочные работы для обозначения контура котлована колышками. Размеры котлована

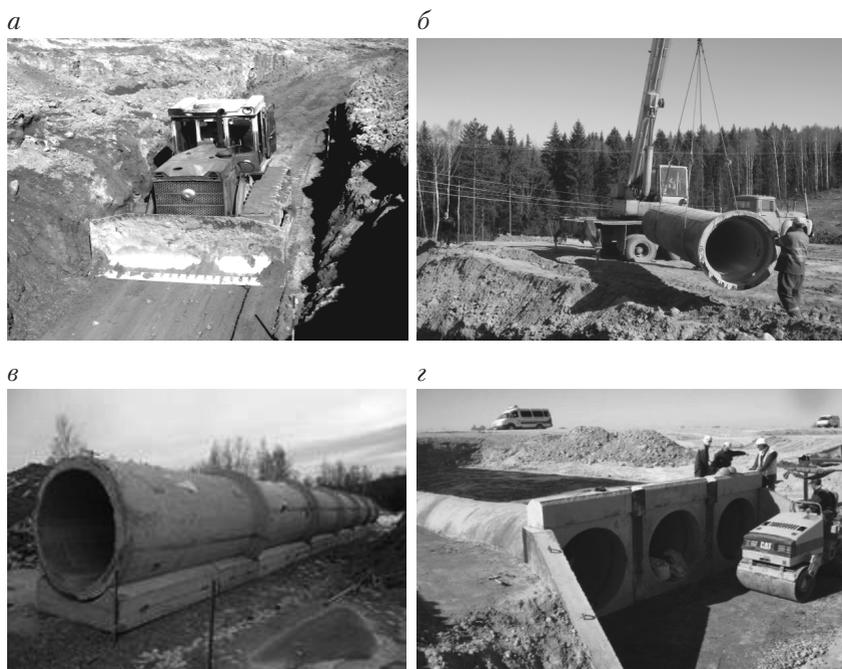


Рис. 5.6. Строительство дорожной трубы:

*a* — разравнивание грунта в основании траншеи бульдозером; *б* — монтаж длиномерных звеньев дорожной трубы; *в* — установка звеньев трубы на фундаментные блоки; *г* — устройство оголовков и уплотнение грунта перед укреплением русла

в плане должны определяться проектными размерами фундамента и запасами в каждую сторону по 0,3 м.

Отрывку котлована производят от выходного оголовка экскаватором. Продольный уклон трубы 5 ‰. Грунт, выбранный из котлована, перемещают за пределы площадки бульдозером.

Сразу же после отрывки и приемки котлована устраивают щебеночную подготовку  $h = 0,1$  м под блоки фундамента.

Фундаменты труб делают сборными из бетонных блоков или монолитными бетонными. Звенья труб отверстием до 1 м укладывают непосредственно на щебеночно-песчаную или гравийно-песчаную подушку, а при благоприятных условиях — на естественное основание.

Блоки фундамента и звенья трубы, доставляемые на объект, складировуют на расстоянии 8...12 м от оси трубы. Щебень, доставляемый автосамосвалами, выгружают непосредственно в котлован, разравнивают и уплотняют. После этого приступают к укладке фундаментных блоков. Параллельно с этим устраивают опалубку для монолитных участков фундамента, засыпают пазухи между стенками котлована и фундаментом на высоту фундамента и уплотняют их.

Оголовки труб устанавливают на бетонные или железобетонные фундамента. Блоки сборных фундамента под трубы устанавливают на основание, выполненное с проектным уклоном. Блоки устанавливают на слой раствора посекционно, от выходного оголовка трубы к входному. Уступы в рядах блоков по высоте не должны превышать 10 мм. Вертикальные швы каждого ряда блоков должны быть заполнены цементно-песчаным раствором.



## 5.4. Монтаж блоков трубы

После устройства фундамента приступают к монтажу звеньев трубы. Звенья с круглым отверстием имеют с одной стороны коническое уширение в виде муфты для вставки цилиндрической части стыкуемой трубы. Такое соединение труб обеспечивает ровную поверхность внутренней части, а также жесткость всей конструкции. Швы между звеньями труб и блоками оголовков заполняют паклей, пропитанной битумом, и заделывают цементным раствором.

Монтаж звеньев труб выполняют с помощью подъемного крана. Работы выполняет звено, состоящее из 1 машиниста крана 6-го разряда и 4 монтажников 5...3-го разряда. Двое рабочих на площадке крепят звено с помощью тросовой оснастки, машинист ориентирует звено уширением в сторону выходного оголовка и опускает звено на подготовленное основание. Двое монтажников следят за точностью укладки звена и снимают оснастку. Под входную часть звена подкладывают деревянный брус, чтобы отверстие находилось на весу в удобном положении для монтирования следующего звена.

После монтажа звеньев приступают к оклеечной и окрасочной гидроизоляции звеньев. Обмазочная гидроизоляция выполняется

путем нанесения двух слоев горячего битума или холодной мастики по битумной грунтовке.

После устройства гидроизоляции приступают к засыпке трубы на высоту звеньев.

При монтаже трубы следует выполнять следующие требования:

□ выходной оголовок следует монтировать до начала установки промежуточных звеньев;

□ при укладке цилиндрических звеньев труб необходимо следить, чтобы бетонная подушка обеспечивала плотный контакт с поверхностью звена по всей длине;

□ отклонение положения продольной оси в плане и в профиле не должно превышать 30 мм;

□ марка по прочности цементно-песчаного раствора должна быть не ниже М200, а водоцементное отношение не более 0,65.

Трубы засыпают в два приема, одновременно с двух сторон горизонтальными слоями толщиной 0,15...0,2 м с уплотнением, которое выполняют послойно вдоль тела трубы. Особое внимание уделяют качеству уплотнения грунта в таких труднодоступных местах, как нижние четверти звеньев круглых труб и места перехода звеньев в оголовки. Толщина засыпки грунта над трубой составляет не менее 0,5 м. В двух- и трехчковых трубах пазухи между трубами заполняют материалом, однотипным с материалом фундамента. В трубах, уложенных на гравийно-песчаную подушку, для засыпки применяют гравийно-песчаную смесь, а в уложенных на бетонные фундаменты пазухи заполняют бетоном.

Переезд через сооружаемую трубу транспортных средств допускается только в случае отсыпки поверх трубы слоя грунта толщиной не менее 1 м, а для бульдозеров — не менее 0,5 м.

При расположении труб на склонах лога засыпку начинают с низовой стороны, при этом уровень засыпки с низовой стороны должен превышать уровень грунта с верховой.

При засыпке труб в зимних условиях необходимо:

□ тщательно очищать от снега и льда основание под призму;

□ не допускать попадания снега и льда в пазухи между стенками котлована и фундамента, а также в тело грунтовой призмы;

□ засыпать пазухи между стенками фундамента и котлована, а также слои грунта непосредственно над верхом звеньев на высоту не менее 1 м только талым грунтом.



## 5.5. Устройство оголовков

---

Оголовки трубы устраиваются из монолитного или сборного цементобетона.

Технология сооружения оголовка из монолитного бетона включает следующие операции:

- 1) устройство траншеи под фундамент оголовка;
- 2) разметка контуров оголовка;
- 3) сооружение опалубки;
- 4) закладка и сварка арматуры;
- 5) доставка бетона и бетонирование конструкции;
- 6) снятие опалубки;
- 7) отделка откоса у оголовка;
- 8) укрепление дна водоотвода.

Технология сооружения оголовка из сборного бетона включает следующие операции:

- 1) устройство траншеи под фундамент;
- 2) уплотнение дна траншеи;
- 3) устройство щебеночной подушки на дне траншеи;
- 4) укладка бетонных блоков фундамента с бетонированием швов;
- 5) укладка бетонных блоков оголовка с бетонированием швов;
- 6) бетонирование соединений оголовка со звеном трубы;
- 7) отделка откоса у оголовка;
- 8) укрепление дна водоотвода.

Все законченные трубы перед приемкой в эксплуатацию должны быть обследованы для проверки их соответствия утвержденному проекту. При этом следует проверять размеры, температурные зазоры, деформационные швы, соосность звеньев, уклон тела трубы. Отклонения не должны превышать 5 %.



## 5.6. Определение объемов и расчет ресурсов при строительстве дорожных труб

---

Объемы работ рассчитываются в зависимости от конструктивных особенностей дорожной трубы: длины, фундамента, типа оголовков.

Расход ресурсов определяется по НРР 8.03.130–2012 «Нормативы расхода ресурсов в натуральном выражении на строительные конструкции и работы. Сборник 30. Мосты и трубы».

Подушка под фундамент может быть: щебеночная (Е30-3-1), песчаная, из гравия, дресвы или их смеси с песком (Е30-3-2), песчано-щебеночная (Е30-3-3). Работы, выполняемые по устройству подушки, включают укладку слоя соответствующего материала и его уплотнение. На этих работах задействованы рабочие и машинисты, управляющие компрессором и пневматической трамбовкой.

Фундамент под трубы может быть устроен монолитный или из сборных железобетонных плит. При устройстве сборного фундамента (Е30-6-1) выполняют следующие операции: укладку блоков на цементный раствор, конопатку швов и заливку их раствором. Укладка блоков осуществляется краном на гусеничном ходу грузоподъемностью 25 т. При устройстве монолитного фундамента (Е30-7-1) выполняют работы по укладке бетона в установленную опалубку, с последующим уходом за ним и разборкой опалубки.

Дальнейшие работы по укладке лекальных блоков (Е30-53), звеньев трубы (Е30-54) выполняют в соответствии с положениями НРР 8.03.130–2012, раздела «Трубы водопропускные железобетонные круглые под насыпями автомобильных дорог». При укладке лекальных блоков работы выполняются по следующей схеме: очистка фундамента, установка лекальных блоков на цементный раствор, конопатка и заливка швов раствором. Нормы расхода ресурсов зависят от диаметра трубы: до 1 м (Е30-53-1) или до 2 м (Е30-53-2).

Укладка звеньев одноочковой трубы выполняется с помощью крана на гусеничном ходу грузоподъемностью 25 т по следующей схеме: подача и сортировка звеньев, очистка поверхности лекальных блоков, укладка звеньев на цементный раствор, конопатка, заливка и затирка швов. Нормы расхода ресурсов принимаются для труб диаметром 0,5, 0,75, 1,0, 1,25, 1,5, 2,0 м, при этом должна быть обеспечена высота насыпи над трубой 0,9...7,0 м.

Сооружение оголовков (Е30-62) выполняют из сборных элементов по следующей схеме: подача и сортировка блоков оголовков, установка железобетонных конструкций оголовков на цементный раствор, конопатка, заливка и расшивка швов, заполнение пазух бетоном, устройство бетонного лотка. Нормы расхода ресур-

сов принимают в зависимости от диаметра отверстия трубы 0,5, 0,75 и 1...2 м.

Показатели потребности в материально-технических ресурсах для укрепления русел и откосов могут быть приняты в соответствии с разделом «Расчетные показатели для составления проектов организации строительства» (Часть X. НРР8.03.130–2012). В этом сборнике приведен расход материалов и затраты труда в зависимости от диаметра трубы.

## РАЦИОНАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМЛЯНЫХ МАСС

### 6.1. Подготовка основания земляного полотна



**Подготовка основания земляного полотна** — технологический процесс подготовки части полосы отвода (равной ширине земляного полотна по низу плюс 4 м) под отсыпку грунта в насыпь, связанный с выравниванием, уплотнением и профилированием его поверхности.

После выполнения подготовительных работ, заключающихся в засыпке ям, оставшихся после выкорчевывания корней деревьев, и снятия слоя растительного грунта, на полосе сооружения насыпи земляного полотна могут оставаться некоторые неровности, остатки почвы и растительности, которые необходимо убрать перед началом земляных работ. Для этого выполняют такой вид работ, как подготовка основания. Перед началом возведения насыпей поверхность основания выравнивают, засыпая ямы и другие неровности, в которых может застаиваться вода. Местные понижения заполняют грунтом и уплотняют до требуемой плотности.

На горизонтальных участках в недренлирующих грунтах (суглинках) поверхность основания профилируют с устройством двускатного профиля с поперечным уклоном 20...40 ‰. До начала возведения насыпи строят искусственные сооружения в виде водопропускных труб, скотопрогонов, труб экологического назначения (технология их строительства рассматривается в курсе «Искус-

ственные сооружения на автомобильных дорогах»). Однако после укладки трубы на подготовленный фундамент необходимо произвести ее засыпку. К засыпке предъявляются требования по однородности и по степени уплотнения грунта засыпки и грунта насыпи. Засыпка осуществляется с двух сторон полосами вдоль трубы шириной не менее 4 м, слоями с обязательным уплотнением каждого. Работы по отсыпке выполняют бульдозером, а в отдельных случаях экскаватором. Уплотнение производят катками челночными проходами вдоль тела трубы. Грунт на расстоянии до 0,5 м от тела трубы уплотняют виброплитами или вибротрамбовками, относящимися к средствам малой механизации.



## 6.2. Распределение земляных масс

Геометрический профиль *насыпи* земляного полотна имеет вид трапеции равнобоковой (при устройстве на равнине) и неравнобоковой (при устройстве на слабопересеченной местности) или сложной фигуры, состоящей из трапеции и треугольника (при устройстве на косогоре и сильно пересеченной местности).

Геометрический профиль *выемки* представляет собой перевернутую трапецию (большим основанием кверху). На нижнем, меньшем, основании выемки сооружают дорожную одежду в виде приподнятой проезжей части, отделенной от откосов выемки кюветом.

Основным принципом определения объемов работ является разбивка земляного полотна на элементарные площадки, в пределах которых определяются объемы геометрических фигур по известным математическим выражениям. В характерных точках продольного профиля дороги, местах изменения уклона местности или проектной (красной) линии сооружение разбивается вертикальными плоскостями на участки, в пределах которых получаются геометрические тела-призматоиды (рис. 6.1).

Высота призматоида равна длине участка между сечениями, а основаниями служат профили сооружения в местах сечений. Этот способ определения объемов называется *способом поперечных профилей*. Общий объем сооружения определяется как сумма объемов призматоидов. При поперечных уклонах местности, не превы-

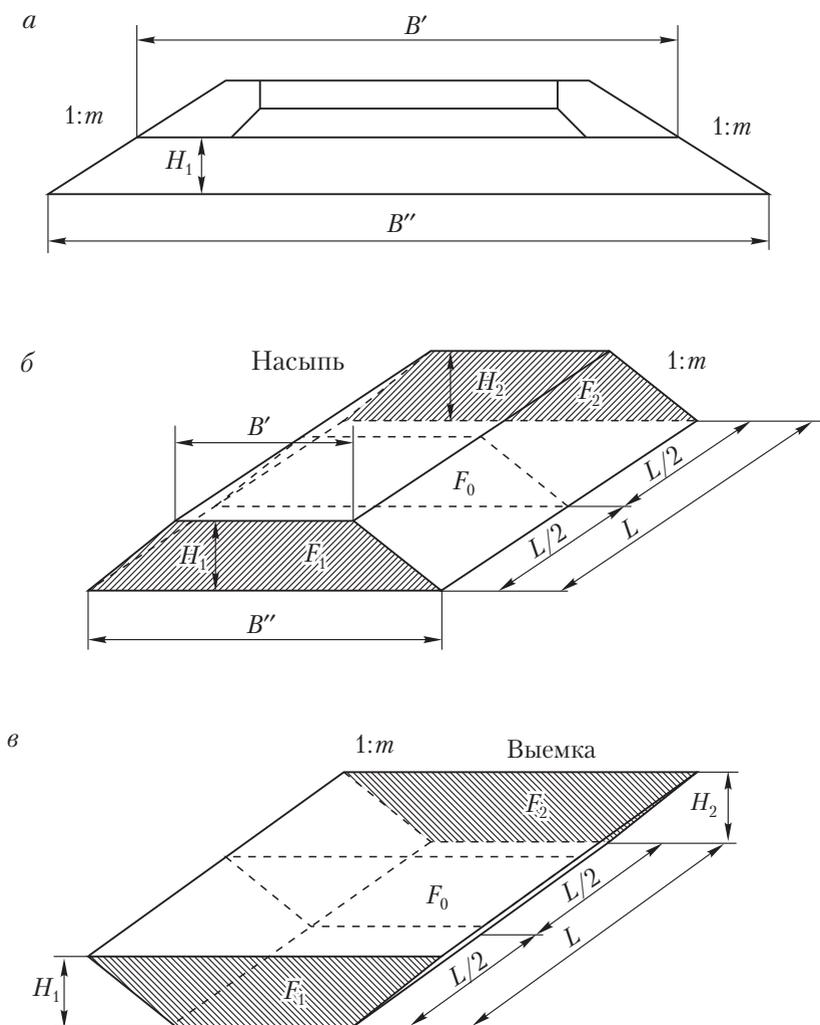


Рис. 6.1. Призматойды для расчета объема земляных работ: *a* – поперечный профиль земляного полотна с дорожной одеждой; *б* – призматойд насыпи; *в* – призматойд выемки;  $B'$  – ширина земляного полотна;  $B''$  – ширина земляного полотна понизу;  $H_1$  – высота насыпи, глубина выемки в начале участка;  $H_2$  – высота насыпи, глубина выемки в конце участка;  $m$  – коэффициент заложения откоса;  $F_1$  – площадь поперечного сечения в начале участка;  $F_2$  – площадь поперечного сечения в конце участка;  $F_0$  – площадь поперечного сечения в середине участка;  $L$  – длина участка

шающих 0,1 %, объем призматоида может быть определен по формуле Ф.Ф. Мурзо:

$$V = \left[ F_0 + \frac{m(H_1 - H_2)^2}{12} \right] L,$$

где  $F_0$  — площадь поперечного сечения в середине,  $m^2 \left( F_0 = \frac{F_1 + F_2}{2} \right)$ ;  $F_1, F_2$  — площади поперечного сечения в начале и в конце сечения соответственно,  $m^2$ ;  $H_1, H_2$  — рабочие отметки в начале и в конце участка, м;  $m$  — коэффициент заложения откоса;  $L$  — высота призматоида, м, равная длине участка.

При  $L \leq 50$  и  $(H_1 - H_2) \leq 0,5$  м можно пользоваться упрощенной формулой

$$V = F_0 L.$$

**Распределение земляных масс** — определение объемов земляных работ для продольной и поперечной возки грунта из резервов и выемок в насыпь или отвал в пределах определенного строительного участка дороги.

При сооружении земляного полотна на участке, где имеются все возможные конструкции поперечных профилей (насыпь, выемка, нулевые места), в первую очередь используют грунт, разрабатываемый в выемках. В этом случае могут возникнуть следующие варианты:

- выемка расположена с краю строящегося участка;
- выемка расположена внутри участка.

Когда выемка расположена *с краю строящегося участка*, грунт начинают разрабатывать на участке, который ближе всего к насыпи (рис. 6.2). В этом случае расстояние транспортирования грунта будет минимальным, следовательно, необходимо использовать дорожные машины, которые смогут выполнить эти работы с минимальными затратами. Такой машиной будет бульдозер, который рекомендуется применять при расстоянии перемещения грунта до 100 м. По мере снятия грунта в выемке бульдозер будет все больше отдаляться от нулевого раздела (точки перехода насыпи в выемку) и, наконец, наступит такой момент, когда перемещение грунта бульдозером станет нецелесообразным (при расстоянии транспортирования грунта более 100 м) из-за низкой его произво-

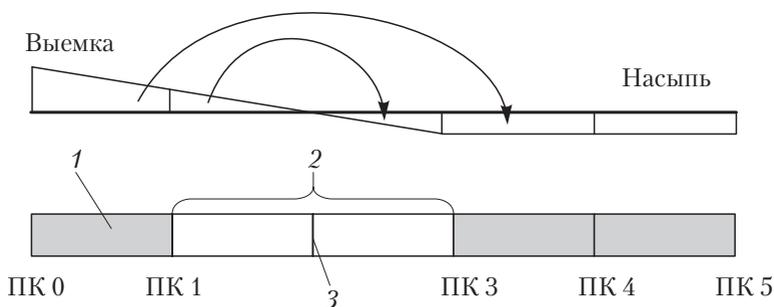


Рис. 6.2. Схема перемещения грунта из выемки в насыпь при расположении выемки с края участка:  
 1 — область работы скрепера; 2 — область работы бульдозера;  
 3 — нулевая точка

длительности, и тогда надо применять другую землеройно-транспортную машину — скрепер.

Скрепер применяется при годовом объеме земляных работ 50...3000 тыс. м<sup>3</sup> и расстоянии транспортирования грунта:

□ 100...500 м — перемещение из мелких выемок в насыпь, а также из боковых резервов в насыпь; применяют скреперы с ковшом объемом 5...25 м<sup>3</sup>;

□ 500...3000 м — перемещение из карьеров в насыпь; используют скреперы с ковшом объемом 9...25 м<sup>3</sup>.

Когда выемка расположена *внутри участка*, грунт начинают разрабатывать на двух участках, которые ближе всего к насыпи (рис. 6.3). Такой вид распределения грунта называют веерным. Работы производят точно так, как в предыдущем варианте, с помощью бульдозера. При смещении земляных работ в середину выемки и увеличении расстояния транспортирования грунта работы выполняют скрепером. При расстоянии перемещения грунта более максимально возможной возки скрепером работы выполняют экскаватором с погрузкой в автомобили-самосвалы и доставкой грунта к месту строительства.

Определение объемов земляных работ выполняется для каждого вида землеройных машин: грейдера, бульдозера, скрепера, экскаватора. Профильные объемы насыпей и выемок устанавливают на основании продольного и поперечного профилей. При этом необходимо учитывать разницу в плотности грунта: естественного

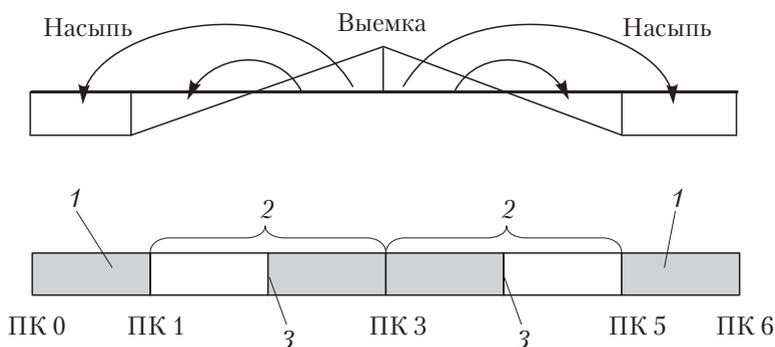


Рис. 6.3. Схема перемещения грунта из выемки в насыпь при расположении выемки в середине участка:  
 1 — область работы скрепера; 2 — область работы бульдозера;  
 3 — нулевая точка

залегания, в насыпном виде и в виде уплотненного слоя насыпи (см. табл. 2.2).

В настоящее время расчет объемов земляных масс осуществляется с помощью компьютерных программ, для чего применяется программный комплекс обработки инженерных изысканий цифрового моделирования местности, проектирования генпланов и автомобильных дорог CREDO. Продольный профиль имеет свою систему координат: по вертикали отображается высота (отметки) точек элементов, масок профилей, а по горизонтали — расстояние от начала маски или пикета. Координатная привязка всех элементов в профиле осуществляется относительно линейного объекта. При работе в профиле в системах CREDO III создают ведомости объемов земляных, планировочных, укрепительных и других работ. Работа с ведомостями профиля доступна при работе с профилями масок. Система CREDO ДОРОГИ позволяет учесть условия прохождения трассы и выполнить нормативные требования при проектировании продольных профилей.

Полученные объемы земляных масс являются исходными данными для составления графика распределения земляных масс (рис. 6.4) — документа, отражающего перемещение грунта из выемки и сосредоточенного резерва в насыпь с устройством присыпной обочины и производство земляных работ определенной



Схематический план и расположение резервов	Паня	Лес мелкий										Кустарник средний	Группы грунтов	Луг	Группы грунтов												
		густой														Кустарник средний	Лес густой	Луг									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																
17	С	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	средний	I	II	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	I	II	
Авторейдерные	18	156	156	156	156	100							588														
До 20 м (растит. грунт)	19	360	360	180								900															
Бульдозерные	20																										
До 30 м	21																										
До 50 м	22											2250															
До 100 м	23																										
До 200 м	24																										
До 300 м	25																										
До 400 м	26																										
До 500 м	27																										
До 600 м	28	4275	5047	6147	317							310	2948	2112	1837	22993	107										107
До 1 км	29																									12165	
До 2 км	30																									17599	
До 3 км	31																										
До 4 км	32																										
До 4 км с емкостью, м <sup>3</sup>	33																										
Недобор (до 1 км)	34																										
Недобор (до 2 км)	35																										
Всего оплаченных земработ, м <sup>3</sup>	36	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	15590	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	31891	0	
Обочины механизировано	37											25795	2818														
Откосов насыпей	38	360	360	360								360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360				
вручную	39																										
Откосов выемок	40	400	400	400	400							1600															
вручную	41																										
Для кюветов	42	42	80	80	80	80																					
Кюветов-резервов	43																										
вручную	44																										

Рис. 6.4. Фрагмент графика распределения земляных масс

землеройно-транспортной машиной. Он включает следующие данные:

- профильный объем работ;
- объем с учетом коэффициента уплотнения;
- распределение земляных масс;
- направление транспортировки и зоны обеспечения;
- способы разработки и дальность транспортировки;
- объемы выторфовывания;
- планировочные работы.

Профильный объем работ включает попикетные объемы: насыпи, выемки, присыпной обочины и кювета. Причем объем присыпной обочины берется для грунта, характеризующегося максимальной плотностью.

Объемы с учетом коэффициента уплотнения определяются после выбора зависящего от вида грунта коэффициента уплотнения, приведенного в ТКП 45-3.03-19 (табл. 6.1). Применение коэффициента относительного уплотнения связано с тем, что грунт в резерве или карьере может занимать меньший объем, чем в насыпи после уплотнения. С учетом этого грунт может находиться в трех состояниях:

- 1) уплотненном — в резерве или карьере;
- 2) рыхлом — в кузове самосвала или ковше скрепера;
- 3) уплотненном до максимальной плотности — в насыпи.

Таблица 6.1

**Значения коэффициента относительного уплотнения**

Коэффициент требуемого уплотнения грунта в насыпи $K_{тр}$	Пески, супеси, пылеватые суглинки	Суглинки, глины	Лёссовые грунты, лёсс
1,00	1,11	1,05	1,30
0,95	1,05	1,00	1,15
0,90	1,00	0,95	0,95

Распределение земляных масс начинается с транспортирования грунта из выемки в насыпь в зависимости от рекомендуемого расстояния перемещения грунта землеройно-транспортными машинами. При этом следует учитывать, что грунт в выемке включает объем выемки плюс объем кювета плюс объем недобора. Если этого

объема не хватает для отсыпки насыпи на пикете, то оставшуюся часть объема доставляют из сосредоточенного резерва. Учитывая, что устройство присыпной обочины имеет временной разрыв с основными земляными работами, хотя и относится к ним, объем грунта для их устройства рекомендуется перемещать из сосредоточенного резерва.

Направление транспортировки грунта обозначается на графике схематически в виде стрелок, показывающих, какой объем берется из данного пикета и в какой пикет перемещается, а также какой объем перемещается на данный пикет из сосредоточенного резерва.

Способы разработки и дальность транспортировки грунта включают выполнение земляных работ такими землеройными машинами, как автогрейдер, бульдозер, скрепер и экскаватор.

Автогрейдер рекомендуется для устройства кюветов и возведения насыпи высотой до 0,75 м из боковых резервов, с перемещением грунта на расстояние до 80 м. Поэтому объем кювета записывается в строку автогрейдера в том же пикете, где он устраивается.

Бульдозер применяется при снятии растительного слоя грунта, а также, согласно ТКП 313–2011 (табл. А.1), при перемещении грунта в насыпь высотой до 2,0 м из мелких выемок и боковых резервов на расстояние до 100 м, а также бульдозер на классе тяги 60...250 кН при перемещении в насыпь высотой до 3 м и дальности транспортировки до 600 м.

Скрепер прицепной применяется при транспортировании грунта на расстояние 80...600 м, полуприцепной самоходный — 600...1000 м, самоходный с объемом ковша 15...40 м<sup>3</sup> — 1000...3000 м.

Экскаватор или погрузчик с ковшем емкостью 0,3...4,0 м<sup>3</sup> рекомендуется использовать при разработке выемок и притрассовых резервов с перемещением грунта в насыпь или кавальер автомобилями-самосвалами на расстояние более 3000 м.

Объем выторфовывания определяется с учетом глубины болота и ширины насыпи земляного полотна понизу и записывается в пикетах, на которых расположено болото.

Планировочные работы выполняются при предварительной планировке грунта после засыпки траншеи на болоте (ширина планировки равняется ширине земляного полотна понизу), планировке верха земляного полотна после отсыпки насыпи (ширина равняется ширине дорожного полотна плюс двойная полоса, опре-

деляемая с учетом толщины дорожной одежды и заложения откоса) и планировке откоса (ширина откоса принимается с учетом высоты насыпи и заложения откоса).

В процессе изыскания дороги определяют возможные источники получения грунта для насыпей: грунтовые карьеры, выемки, боковые резервы. Доставленный грунт разгружают в виде куч на полосе, равной ширине насыпи понизу.

При установлении мест разгрузки грунта участок насыпи на захватке разбивают по прямоугольной сетке размером  $L_1 \times L_2$  (рис. 6.5).

Вначале определяют количество точек  $n$  разгрузки грунта по ширине отсыпаемого слоя:

$$n = \frac{B}{\left(\frac{V}{h}\right)^{0,5}} - 1,$$

где  $B$  — ширина отсыпаемого слоя, м;  $V$  — объем грунта в кузове транспортного средства, м<sup>3</sup>;  $h$  — толщина отсыпаемого слоя, м.

Значение  $n$  округляют до целого числа и находят размеры

$$L_1 = B/n \quad \text{и} \quad L_2 = V/hL_1.$$

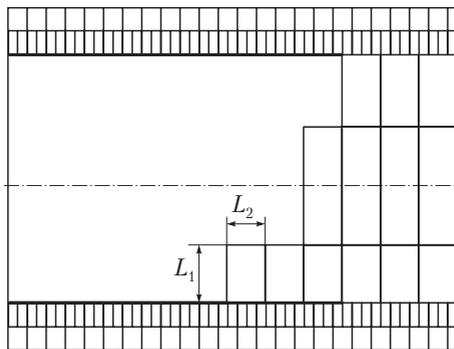


Рис. 6.5. Разбивка мест выгрузки грунта при сооружении земляного полотна:

$L_1$  — размер ячейки сетки по ширине слоя;  $L_2$  — то же по длине слоя

Учитывая коэффициент относительного уплотнения, рассчитывают объем грунта, который необходимо взять из карьера (резерва):

$$V_p = V_n K_{отн}$$

где  $V_p$  — объем из резерва, м<sup>3</sup>;  $V_n$  — объем грунта в насыпи, м<sup>3</sup>;  $K_{отн}$  — коэффициент относительного уплотнения.

Выбор землеройных машин производят в соответствии:

- с объемом земляных работ;
- расстоянием перемещения грунта;
- функциональным назначением машины;
- производительностью ведущей машины;
- анализом требуемых марок машин на различных участках выполнения земляных работ.

*Объем земляных работ* определяется в результате расчета объема грунта, перемещаемого из выемки, притрассовых и сосредоточенных резервов в насыпь, а также с учетом замены грунта при выторфовывании, устройства присыпной обочины, кюветов. Объемы определяются на каждом пикете строящейся дороги и фиксируются в графике распределения земляных масс.

*Расстояние перемещения* определяется с учетом направления транспортировки грунта, зон действия карьеров и маршрута следования автомобилей-самосвалов от сосредоточенных резервов к месту отсыпки насыпи. Выбор направления транспортировки производится с учетом односторонней или двухсторонней схемы перемещения грунта из выемки в насыпь, а также существующей или временной сети подъездных дорог.

*Зоны действия* песчаных и гравийных карьеров определяются расчетно-графическим методом исходя из стоимости транспортных расходов. Для этого строят график зависимости стоимости единицы перевозимого груза от расстояния транспортирования. Для определения рациональной границы зон действия карьеров находят точку на дороге, в которой совпадают стоимости вывозки единицы материала из соседних карьеров. Границы использования карьеров удобно определять графически (рис. 6.6). Вертикальный отрезок, отложенный в точке выезда из каждого карьера, представляет стоимость материала при выезде на дорогу, наклонные линии, расходящиеся от вертикального отрезка, — прирост стоимости по мере

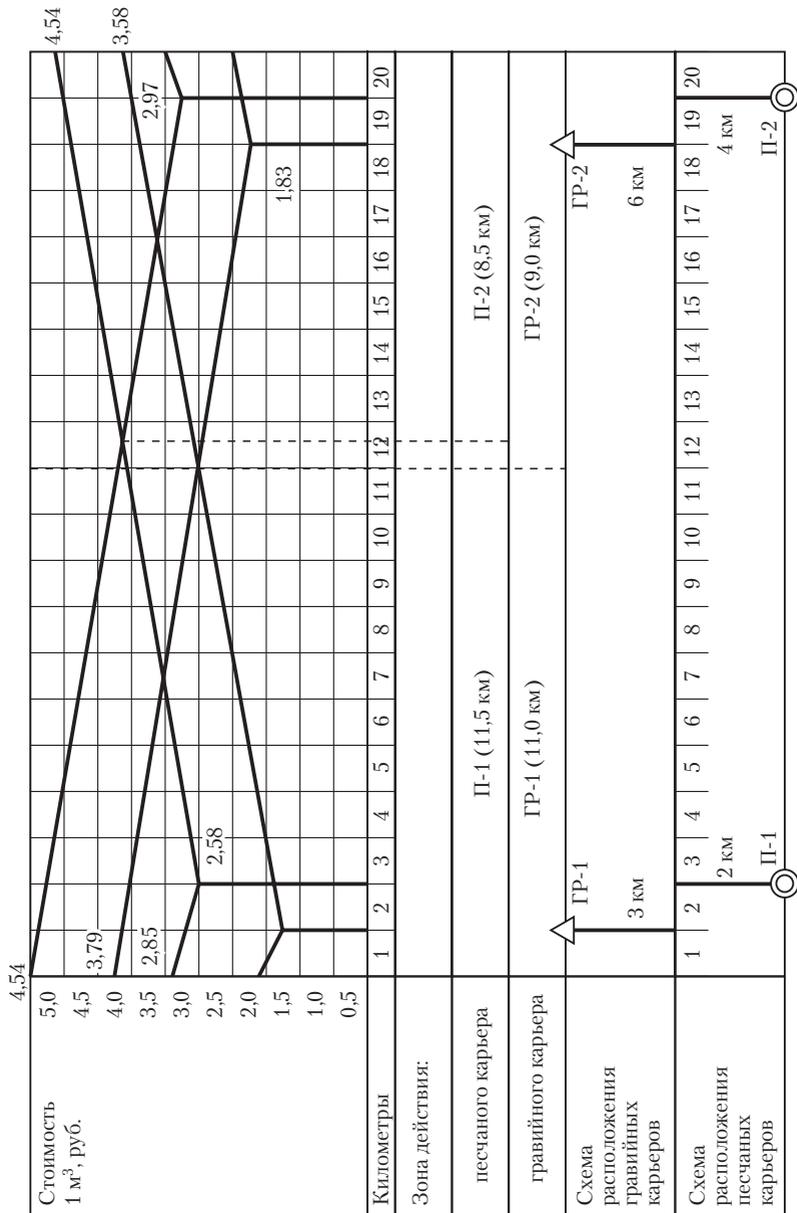


Рис. 6.6. График границ использования карьеров

увеличения дальности возки. Пересечение наклонных линий свидетельствует о равенстве стоимостей перевозки каменного материала из соседних карьеров.

*Функциональное назначение землеройно-транспортных машин* связано с их конструкцией и производительностью при выполнении данного вида работ. Как уже было сказано, бульдозер применяется при транспортировании грунта волоком на расстояние до 100 м, скрепер прицепной или самоходный — на расстояние 100...3000 м, автомобили-самосвалы с погрузкой экскаватором — на расстояние до 1 км и более. Автогрейдер, кроме профилировочных работ, применяют при снятии недобора и устройстве присыпной обочины и кюветов.

Производительность ведущей машины измеряется количеством выполненной работы по перемещению грунта в единицу времени:

$$\text{Пр} = \frac{V_p}{T_p}, \text{ м}^3/\text{см.},$$

где Пр — производительность машины;  $V_p$  — объем земляных работ,  $\text{м}^3$ ;  $T_p$  — время, затрачиваемое на выполнение данного объема при полной загрузке рабочего времени, ч, смена.

Производительность бульдозера определяется из выражения

$$\text{П}_6 = \frac{3600V\varphi_1}{t_{\text{ц}}\varphi_2}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $V$  — объем грунта, перемещаемого бульдозером;  $\varphi_1$  — коэффициент использования бульдозера во времени;  $t_{\text{ц}}$  — продолжительность цикла, с;  $\varphi_2$  — коэффициент разрыхления грунта.

Производительность скреперов прямо пропорциональна количеству перевозимого за один рейс грунта и обратно пропорциональна времени, затраченному на один цикл работы, определяется из выражения

$$\text{П}_{\text{ск}} = \frac{3600V\varphi_1\varphi_3}{t_{\text{ц}}\varphi_2},$$

где  $V$  — геометрическая емкость ковша скрепера,  $\text{м}^3$ ;  $\varphi_3$  — коэффициент заполнения ковша грунтом;  $\varphi_2$  — коэффициент разрыхления грунта.

При расчете производительности экскаватора дополнительно учитывается коэффициент наполнения ковша (0,9...1,1). Производительность одноковшового экскаватора определяется из выражения

$$\Pi_3 = \frac{3600q\varphi_3\varphi_1}{t_{\text{ц}}\varphi_2}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где  $q$  — геометрическая емкость ковша экскаватора,  $\text{м}^3$ .

При расчете ресурсов производительность машины (бульдозера, скрепера, экскаватора) рассчитывают с учетом нормы времени (маш.-ч) на выполнение данного вида работы машины выбранной мощности или емкости рабочего оборудования (емкости ковша):

$$\Pi_p = \frac{1000T_{\text{см}}}{H_{\text{вр}}}, \text{ м}^3/\text{см.},$$

где 1000 — единица измерения объема работ;  $T_{\text{см}}$  — продолжительность смены, ч;  $H_{\text{вр}}$  — норма времени, маш.-ч.

На основании производительности машины определяют продолжительность ее работы (в сменах) на выполнении заданного объема:

$$T_p = \frac{V_p}{\Pi_p}, \text{ смен.}$$

*Недобор* — это часть грунта в виде порогов, остающаяся в выемке на откосах и основании при производстве работ экскаватором. Выработка грунта по дну выемки осуществляется не до конечной отметки, чтобы не нарушить естественное залегание грунта. При окончательной планировке откосов выемки неровности срезают, а также снимают слой грунта с основания с помощью автогрейдера. Грунт при соответствии требованиям используют для отсыпки насыпи или устройства присыпных обочин. Недобор обычно составляет порядка 2 % от объема выемки:

$$\text{Недобор} = \text{Объем выемки} \cdot 0,02.$$

*Присыпная обочина* — это обочина, сооружаемая после устройства дорожной одежды путем доставки грунта, его распределения между кромкой и бровкой, уплотнения и придания односкатного

профиля в сторону откосов в соответствии с проектом. Приблизительный объем присыпной обочины, устраиваемой с двух сторон покрытия (2) на одном пикете (100 м), определяют из выражения

$$V_{п.о} = 2 \cdot 100(bh + 0,5 \cdot 1,5h^2),$$

где  $b$  — ширина обочины в зависимости от категории дороги, м;  $h$  — толщина дорожной одежды, принимается как суммарная величина толщин слоев покрытия и основания до дополнительного слоя песка, выполняющего функцию морозозащитного или дренирующего, м; 1,5 — заложение откоса.

Объем присыпной обочины, вычисленный по вышеприведенной формуле, дает завышение результата на 10...12 %, так как не учитываются отдельные толщины основания и покрытия, а принимается общая толщина дорожной одежды.

Расчет перемещаемого грунта из выемки или карьера выполняется в такой последовательности.

1. Определяют объем грунта на данном пикете, подготовленный для транспортирования в насыпь на этом же или соседнем пикете:

$$V_{тр} = V_{в} + V_{н} + V_{кв},$$

где  $V_{в}$  — объем грунта в выемке, м<sup>3</sup>;  $V_{н}$  — объем грунта из недобора, м<sup>3</sup>;  $V_{кв}$  — объем грунта кювета.

2. Рассчитывают объем грунта, который необходимо доставить на данный пикет для отсыпки насыпи:

$$V_{д} = V_{нс} + V_{п.о},$$

где  $V_{нс}$  — объем насыпи, м<sup>3</sup>;  $V_{п.о}$  — объем присыпной обочины, м<sup>3</sup>.

3. Определяют разность между двумя вышеобозначенными величинами:

$$V_{кр} = V_{д} - V_{тр},$$

при этом могут возникнуть варианты:

□  $V_{кр} > 0$  — грунта из выемки недостаточно для отсыпки насыпи на пикете, следовательно, количество грунта, соответствующее разнице, должно быть доставлено из сосредоточенного карьера или из другого пикета выемки;

- $V_{кр} < 0$  — грунта из выемки больше, чем необходимо для отсыпки насыпи, поэтому количество грунта, равное разнице между доставкой и требуемым грунтом, должно быть перемещено для отсыпки насыпи на следующем пикете;
- $V_{кр} = 0$  — объем грунта, транспортируемый из выемки, соответствует объему грунта, необходимому для отсыпки насыпи.



### 6.3. Расчет объема карьера

**Карьер** — производственное предприятие для добычи и переработки каменных материалов (щебня, гравия, песка) (рис. 6.7). Карьеры бывают притрассовые (временные) и промышленные (базисные). *Притрассовые* карьеры располагаются в непосредственной близости от участка строящейся дороги.

*Промышленный карьер* — производственное постоянно действующее горное предприятие, организованное на базе крупного месторождения с большим запасом горной породы (камня, гравия, песчано-гравийной смеси) и осуществляющее добычу породы открытым способом. На рис. 6.7 изображен промышленный карьер, в котором добыча совмещена с дробильно-сортировочным произ-



Рис. 6.7. Общий вид карьера по добыче горных пород

водством. Добытый в забое материал доставляется автомобилями к сортировочной установке, которая разделяет материал по фракциям. Крупные фракции поступают на дробление в дробильные установки, после чего разрушенный материал сортируется и по транспортерам отсыпается в соответствующие терриконы для отгрузки потребителю.

При разработке карьеров в комплекс горных работ входит:

- подготовка;
- вскрыша (снятие растительного слоя и пустой породы);
- добыча (дробление массива, резание и погрузка горной массы в транспортные средства);
- транспортировка (доставка горной массы из карьера к перерабатывающим установкам);
- переработка горной породы в продукцию заданных размеров и качества (дробление, сортировка и очистка от примесей).

**Вскрыша** — это удаление из места разработки горной породы растительного грунта и пустых пород, перекрывающих полезные ископаемые. Для технико-экономической оценки месторождения определяют коэффициенты вскрыши и пустых пород.

*Коэффициент вскрыши* — это отношение объема вскрыши  $V_{\text{вс}}$  к общему объему полезного ископаемого  $V$ :

$$K_{\text{в}} = \frac{V_{\text{вс}}}{V}.$$

*Коэффициент пустых пород* — это отношение объема пустых пород\*  $V_{\text{п}}$  к общему объему полезного ископаемого:

$$K_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}}{V}.$$

Вскрышные и пустые породы вывозят в отвал. Чем больше значения  $K_{\text{в}}$  и  $K_{\text{п}}$ , тем значительнее затраты на вскрышные работы и выше себестоимость продукции.

Разработка карьера экскаватором, оборудованным прямой лопатой, производится боковым и лобовым забоями. Одним из способов разработки карьера является разработка террасами — когда добыча полезного ископаемого идет на одном уровне, а после

---

\* Породы называются пустыми, если они не используются как каменный материал.

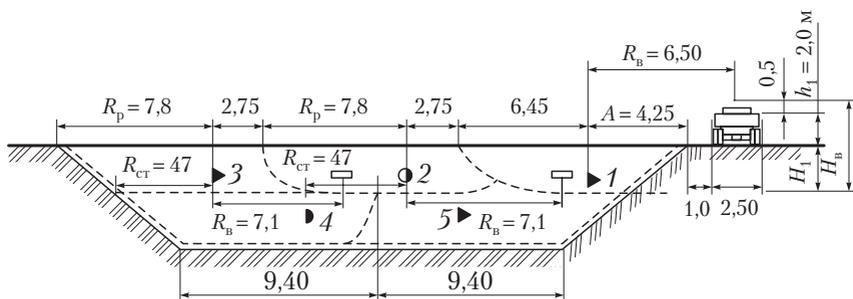


Рис. 6.8. Сечение грунтового карьера (размеры в м):

$R_p$  — наибольший радиус резания;  $R_b$  — наибольший радиус выгрузки;  $R_{ct}$  — радиус резания на уровне стояния гусениц;  $H_b$  — наибольшая высота выгрузки;  $A$  — расстояние от кромки разрабатываемой траншеи до оси прохода экскаватора;  $H_1$  — глубина пионерной траншеи;  $h_1$  — высота кузова автомобиля

завершения добычи экскаваторы переходят на следующий, более глубокий уровень (рис. 6.8).

Для определения объема карьера необходимо знать его геометрические размеры, которые определяют с учетом максимальной глубины резания экскаватором с определенной емкостью ковша ( $0,5, 1,0, 1,5 \text{ м}^3$ ) и ширины карьера, равной  $n$ -кратной (2-х, 3-х и т.д.) ширине забоя. Составляют расчетную схему габаритных размеров карьера (рис. 6.9).

При заложении откоса, равном 1:1, ширина и длина карьера поверху определяются из выражений

$$b_1 = b + 2H, \quad l_1 = l + 2H,$$

где  $H$  — глубина карьера при полной выработке полезной породы, состоящая из суммы глубин нескольких террас, соответствующих наибольшей высоте резания, м.

Объем грунта в карьере определяют путем умножения средней площади на высоту:

$$V = F_{cp} H = \frac{(b + l) + [(b + 2H)(l + 2H)]}{2} H, \text{ м}^3.$$

Длину карьера понизу определяют из выражения

$$l = \frac{V - bH^2 - 2H^3}{bH + H^2}.$$

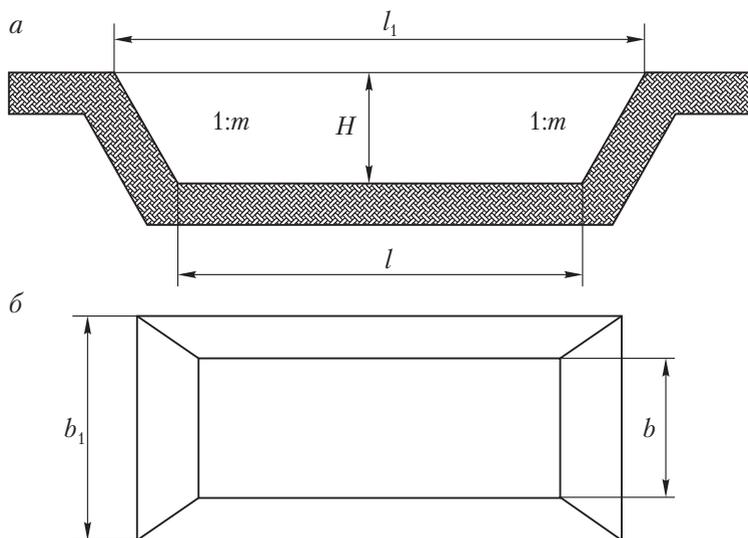


Рис. 6.9. Расчетная схема карьера:

$a$  — продольный разрез карьера;  $b$  — план; размеры понизу:  $b$  — ширина;  $l$  — длина; размеры поверху:  $b_1$  — ширина;  $l_1$  — длина;  $H$  — глубина карьера

*Резерв* — место вблизи полотна дороги, из которого выбирают грунт для сооружения насыпей при глубине разработки не более 1,5 м (рис. 6.10). Если закладка резерва невозможна вблизи дороги, то его закладывают вдали от дороги на отведенном участке сосредоточенного грунтового карьера.

Подготовка месторождения к разработке включает: вырубку леса, корчевание пней, ограждение карьера от притока поверхностных и подземных вод, сооружение первичных подъездных дорог к участкам первоначальных горных работ и отвалов.

При добыче грунта для отсыпки насыпи в притрассовых резервах необходимо обеспечивать водоотвод в сторону от земляного полотна, поэтому дну резерва придают уклон (рис. 6.11). При ограниченной ширине полосы отвода резерв закладывают шириной не более 10 м. В этом случае размеры резерва определяют следующим образом:

□ глубина резерва со стороны земляного полотна:

$$h_1 = h_0 - 0,01b_2;$$

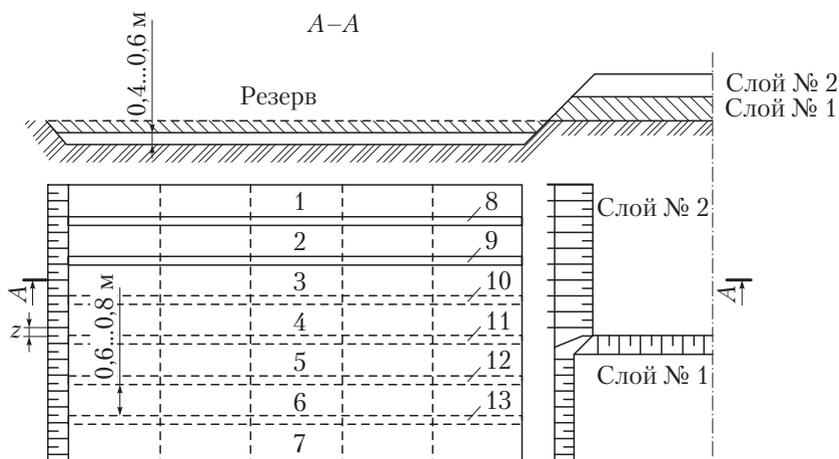


Рис. 6.10. Способ траншейной разработки резерва:  
1–7 – траншеи; 8–13 – стенки;  $z$  – ширина перекрытия следа (0,25...0,3 м)

- глубина резерва с внешней стороны:

$$h_2 = h_0 + 0,01b_2;$$

- ширина резерва поверху:

$$b_1 = \frac{F}{h_0} + 1,25h_0;$$

- ширина резерва понизу:

$$b_2 = \frac{F}{h_0} - 1,25h_0,$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения насыпи,  $\text{м}^2$ ;  $h_0$  – средняя глубина резерва, м

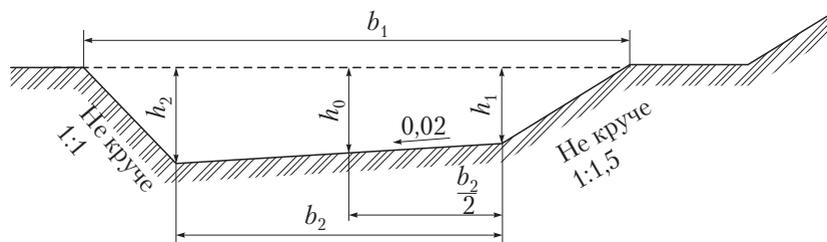


Рис. 6.11. Схема резерва шириной до 10 м

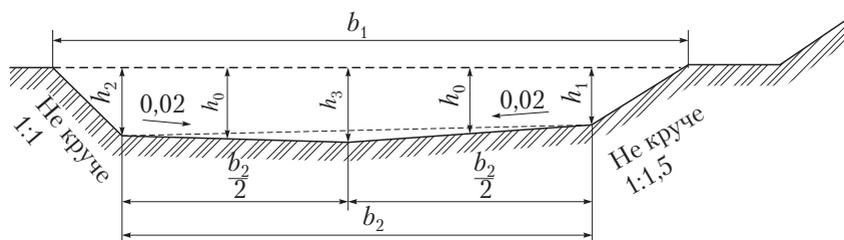


Рис. 6.12. Схема резерва шириной более 10 м

При достаточно широкой полосе отвода и возможности разработки грунта в резерве шириной более 10 м отвод и сбор воды осуществляется посередине резерва (рис. 6.12). В этом случае геометрические размеры резерва определяют с учетом следующих выражений:

$$h_1 = h_2 = h_0 - 0,005b_2;$$

$$h_3 = h_0 + 0,005b_2;$$

$$b_1 = \frac{F}{h_1} + 1,25h_0;$$

$$b_2 = \frac{F}{h_0} - 1,25h_0,$$

где  $h_3$  — глубина резерва посередине

Таким образом, карьеры и притрассовые резервы являются источником грунта для отсыпки насыпи земляного полотна. Их объемы определяют в зависимости от способа разработки, наличия пустых пород и ширины полосы отвода.

## ВОЗВЕДЕНИЕ НАСЫПЕЙ И РАЗРАБОТКА ВЫЕМОК

### 7.1. Общие положения

Насыпь земляного полотна представляет собой трапецию, расположенную на основании из грунтов естественного залегания. Насыпь возводят из грунтов, отсыпаемых слоями по всей ширине земляного полотна с учетом ее сужения к проектным отметкам. На полосу, соответствующую ширине насыпи по низу и отмеченную кольшками, вывозят грунт и отсыпают в виде куч, которые разравнивают бульдозером, после чего уплотняют дорожным катком (рис. 7.1). При необходимости грунт увлажняют с помощью поливомоечной машины.

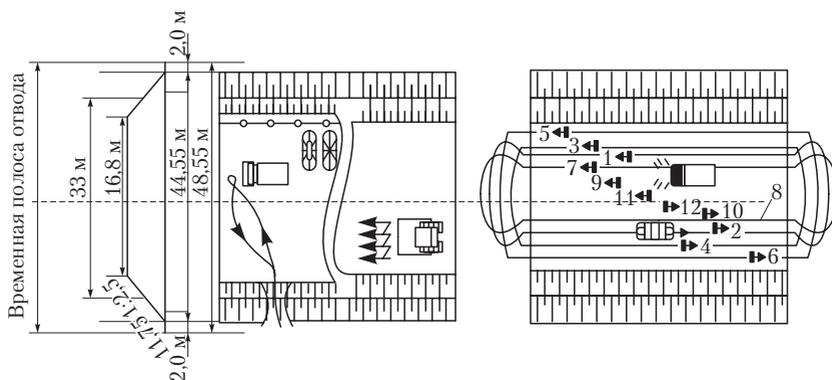


Рис. 7.1. Схема возведения насыпи земляного полотна

Так как возведение насыпей заключается в последовательной отсыпке грунта определенной толщины, применяются следующие способы отсыпки насыпи. *Способ послойной отсыпки* (рис. 7.2, а) заключается в отсыпке слоев грунта один на другой с доведением насыпи до проектной отметки. При таком способе основные работы ведут на двух участках одинаковой длины — на одном отсыпают слой грунта, на другом его уплотняют; затем операции меняют местами.

При возведении земляного полотна на участках, на которых имеется овраг или болото, произвести послойную отсыпку невозможно, и тогда применяется *способ отсыпки насыпи «с головы»* (рис. 7.2, б). Недостатком этого способа является невозможность послойного уплотнения, поэтому необходимо соблюдать условия временной консолидации грунта, которая будет происходить под действием вышележащей массы грунта и передвижения построенного транспорта. Для частичного устранения этого недостатка применяют *комбинированный способ* (рис. 7.2, в), сущность которого заключается в засыпке траншеи способом «с головы», а возведение насыпи — способом послойной отсыпки.

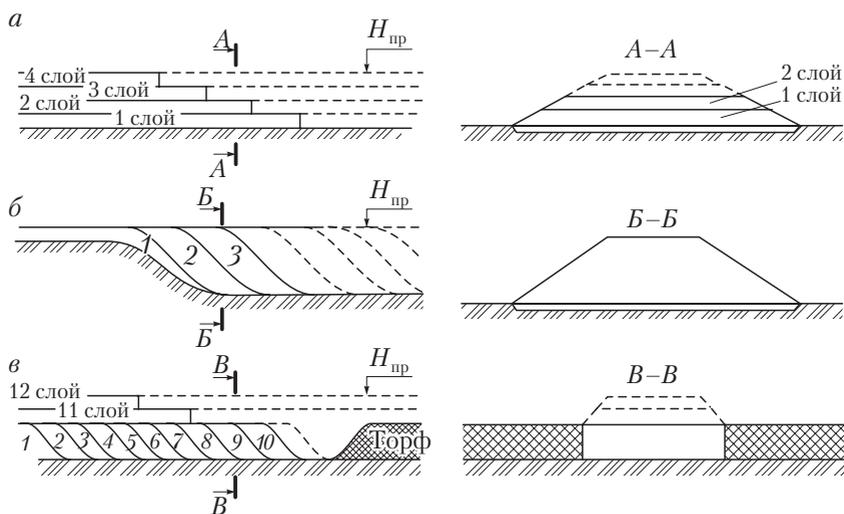


Рис. 7.2. Способы отсыпки насыпи:

а — послойная; б — «с головы»; в — комбинированная;  $H_{пр}$  — проектная высота насыпи

Для сооружения земляного полотна автомобильных дорог применяют бульдозеры, скреперы, автогрейдеры, экскаваторы. Выбор ведущей машины зависит от способа выполнения земляных работ, высоты насыпи, вида грунта и дальности его перевозки.

## 7.2. Грейдерные работы

Автогрейдеры предназначены, главным образом, для работы по разравниванию и профилированию грунта, устройству кюветов и срезки недобора. Профилирование грунта осуществляется путем прохода автогрейдера от бровки к середине земляного полотна, при этом отвал устанавливают под углами, способствующими перемещению грунта к центральной части с образованием двускатного профиля (рис. 7.3).

Для отсыпки насыпей автогрейдеры применяют при строительстве автомобильных дорог низких категорий и небольших объемах работ — высоте насыпи до 0,75 м и равнинном рельефе. Вырезание грунта автогрейдером в резерве и его поперечное перемещение в насыпь осуществляют круговыми проходами машин, для чего длина захватки должна составлять 400...500 м. Работы

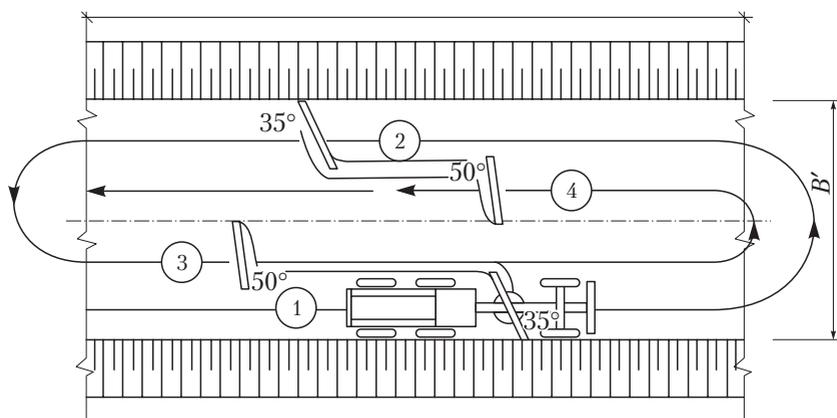


Рис. 7.3. Схема прохода автогрейдера при профилировании земляного полотна:

1–4 — порядок проходов автогрейдера;  $B'$  — ширина земляного полотна

ведутся на двух захватках: на одной вырезают грунт из резерва и перемещают его в насыпь, на другой — планируют и уплотняют ранее отсыпанный слой грунта. Автогрейдеры, работающие на перемещении грунта, оборудуются удлинителями отвала. При работе в легких грунтах наращивают высоту отвала автогрейдера на 10...15 см.

Эффективная работа автогрейдера зависит от правильной установки углов резания, захвата и наклона рабочего органа — отвала (см. рис. 2.7 на с. 49). Угол резания  $\alpha$  влияет на сопротивление, которое испытывает автогрейдер при резании грунта, а значит, на скорость движения и расходную мощность двигателя, необходимую для преодоления этого сопротивления. От угла захвата  $\lambda$  зависит ширина обрабатываемой полосы, следовательно, и производительность машины. Угол наклона  $\epsilon$  обеспечивает необходимый поперечный уклон.

### 7.3. Бульдозерные работы

Рабочий цикл бульдозера при возведении земляного полотна (табл. 7.1) состоит из зарезания грунта, его перемещения, укладки и обратного холостого хода. При зарезании и наборе грунта его стружка может иметь клиновидную, гребенчатую и ленточную форму (рис. 7.4).

Таблица 7.1

График рабочего цикла бульдозера

№ п/п	Наименование операции	Время, с								Продолжительность, с
		0	20	40	60	80	100	120	140	
1	Зарезание и набор грунта	—								25
2	Перемещение грунта		—	—	—	—				61
3	Укладка перемещенного грунта						—	—		19
4	Холостой ход							—	—	46
<i>Итого</i>										151

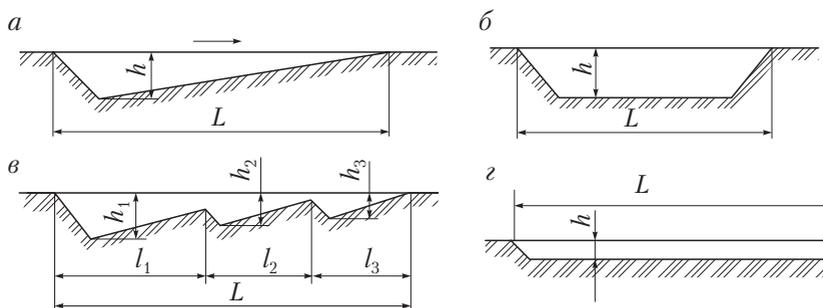


Рис. 7.4. Форма стружек грунта, срезаемых бульдозером:  
 а – клиновидная; б, г – ленточная; в – гребенчатая;  $h$  – глубина стружки;  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  – глубина первого, второго и третьего гребней;  $L$  – длина резания;  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  – длина первого, второго и третьего гребней

Во время работы бульдозер преодолевает следующие сопротивления:

- резанию и деформации грунта отвалом (зависит от категории грунта по трудности разработки и параметров отвала);
- волочению призмы грунта впереди отвала (зависит от веса грунта, коэффициента трения);
- трению грунта по отвалу (зависит от угла резания ножа отвала и коэффициента трения грунта о сталь);
- движению трактора как транспортного средства (зависит от уклона местности и веса трактора).

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.

Легкие грунты разрабатываются при постоянной наибольшей глубине зарезания (ленточная форма стружки). Такая же форма образуется при снятии растительного слоя толщиной 10...15 см.

Бульдозеры в качестве основной машины используют при сооружении земляного полотна из выемок в насыпь (при расстоянии перемещения грунта до 100 м) и из боковых резервов в насыпь высотой до 2 м.

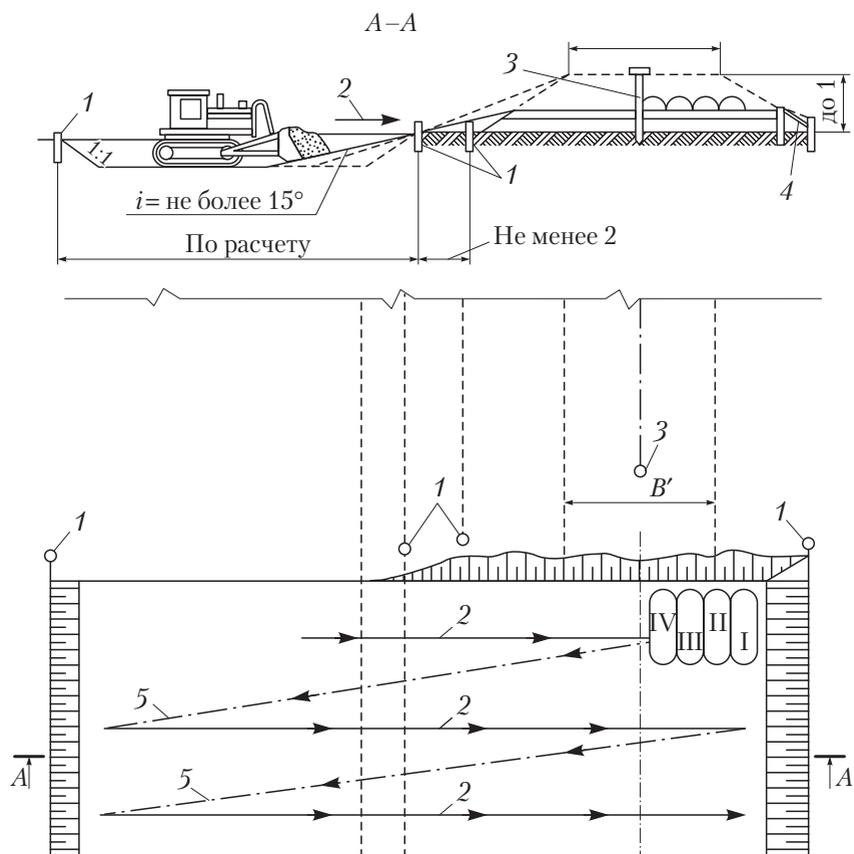


Рис. 7.5. Отсыпка земельного полотна бульдозером из одностороннего резерва:

1 — разбивочные колышки; 2 — рабочие ходы бульдозера; 3 — высотные вешки; 4 — откосное лекало; 5 — холостые ходы бульдозера; I–IV — последовательность укладки грунта;  $B'$  — ширина насыпи поверху

В условиях равнинной местности **сооружение невысоких насыпей** осуществляется способом отсыпки насыпи из боковых резервов, закладываемых вдоль дороги с одной (рис. 7.5) или двух сторон (рис. 7.6).

Возведение насыпей земельного полотна из грунта боковых резервов обеспечивает в большинстве случаев минимальные затраты

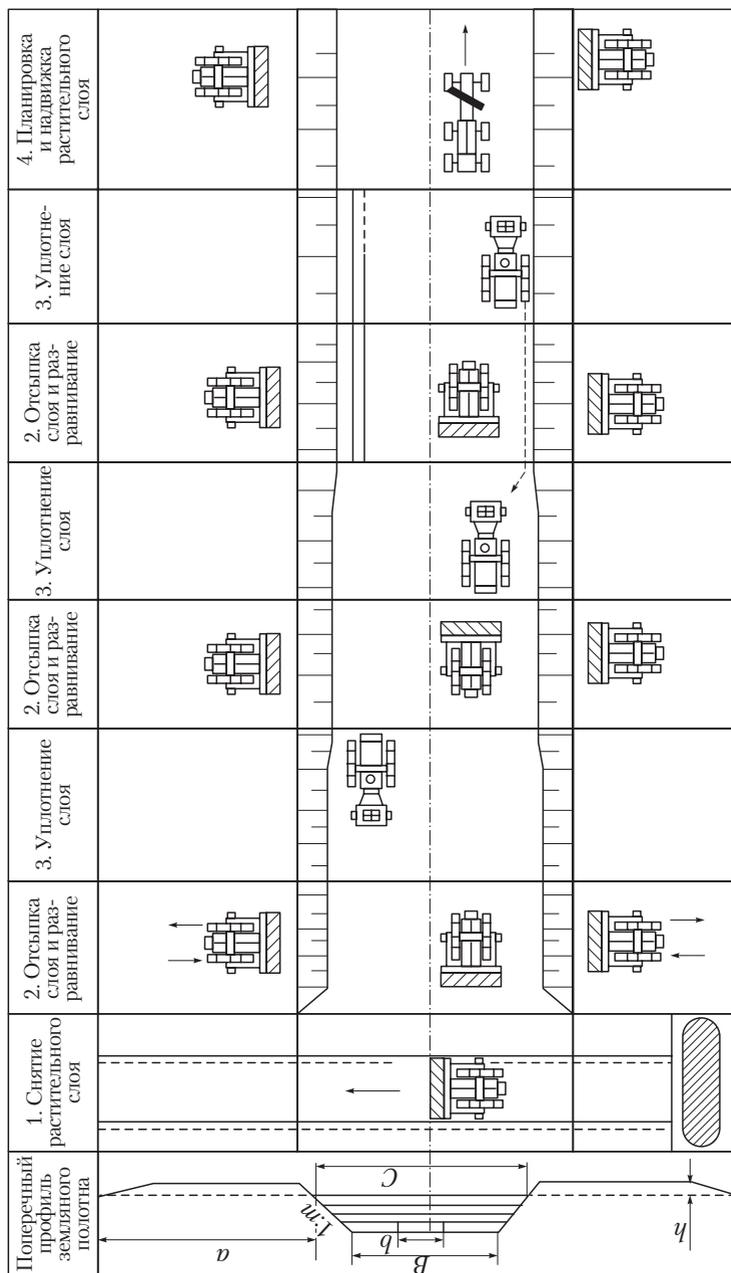


Рис. 7.6. Технологическая схема возведения насыпи бульдозерами из двусторонних боковых резервов

на перемещение грунта и наиболее низкую стоимость земляных работ. Вместе с тем такие работы связаны с необходимостью значительного увеличения ширины полосы отвода затруднением водоотвода из пониженных мест и с дополнительными затратами на устройство и ликвидацию въездов и съездов для землеройно-транспортных машин.

Движение бульдозера при резании грунта осуществляется перпендикулярно продольной оси дороги. Вырезанный грунт перемещают в насыпь до оси дороги. После формирования вала из отсыпанного грунта бульдозер переходит на этот вал и начинает разравнивать грунт продольными челночными движениями до границ, соответствующих ширине земляного полотна понизу. Во время разравнивания бульдозер производит предварительное уплотнение грунта своими гусеницами. После разравнивания он возвращается в резерв и продолжает отсыпать насыпь на соседнем участке, а его место занимает вначале автогрейдер, который профилирует поверхность слоя и придает ему необходимый поперечный уклон, а затем уплотняющая техника (катки).

Для более полного сохранения естественной влажности грунта устанавливают минимальную длину рабочей захватки и увеличивают толщину отсыпаемого слоя с учетом возможности эффективного уплотнения его катками. По завершении уплотнения бульдозер начинает отсыпать следующий слой грунта.

Перечисленные операции повторяются до соответствия высоты насыпи проектным отметкам.

*Разработка выемок* землеройно-транспортными машинами с продольным перемещением грунта в насыпь позволяет обеспечить высокую производительность машин и рекомендуется во всех случаях, когда грунт из выемки пригоден для отсыпки насыпи. Разработку выемок с перемещением грунта в насыпь рационально производить траншейно-ярусным способом (рис. 7.7), при этом разработку начинают с ближнего к насыпи конца выемки.

Отсыпку каждого слоя в насыпи начинают с крайних боковых полос с последующим приближением полос отсыпки к оси дороги. При этом толщина слоя отсыпки должна соответствовать заданной толщине технологического слоя с запасом на уплотнение в 10...20 %. К концу смены слой грунта должен быть полностью отсыпан, выровнен и уплотнен по всему поперечному сечению

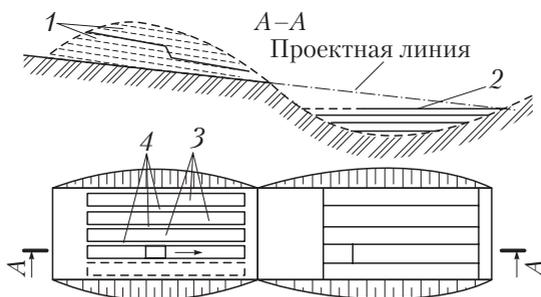


Рис. 7.7. Траншейно-ярусная схема разработки грунта бульдозером:  
1 – ярусы разработки; 2 – слои отсыпаемой насыпи; 3 – траншеи; 4 – стенки между траншеями

земляного полотна. Верх слоя из песчаного грунта должен иметь уклон к бровке 20 %, из глинистого — 40 %, что обеспечивает сток воды в случае выпадения атмосферных осадков.

## 7.4. Скреперные работы

При высоте насыпей 2,5...3,0 м и расстоянии продольного перемещения грунта более 100 м для землеройно-транспортных работ эффективнее применять скреперы. Для сокращения стоимости работ применяют комбинированный способ возведения насыпей: до высоты 1,5...2 м бульдозерами, выше — скреперами.

Основными видами сопротивления при работе скрепера являются:

- сопротивление перемещению скрепера с ковшом, наполненным грунтом; зависит от веса скрепера, вида грунта и геометрических размеров ковша, влияющих на вес набранного грунта;
- сопротивление грунта резанию; зависит от категории грунта по трудности разработки, глубины резания и сопротивления грунта;
- сопротивление подъему грунта и перемещению его внутри ковша.

Рабочий цикл скрепера (табл. 7.2) состоит из следующих последовательно выполняемых операций:

1) резание грунта и наполнение ковша, при этом нож ковша опущен в грунт, а подвижная заслонка находится в приподнятом

состоянии. Скорость движения скрепера при наполнении ковша составляет 2...4 км/ч;

2) наполненный грунтом ковш на ходу поднимается в транспортное положение, а подвижная заслонка опускается, препятствуя высыпанию грунта из ковша. Скорость при транспортном передвижении составляет 0,5...0,8 от максимальной скорости трактора или тягача;

3) транспортирование грунта в ковше к месту укладки;

4) выгрузка и укладка грунта. При разгрузке подвижная заслонка вновь поднимается, а грунт вытесняется из приспущенного ковша выдвигаемой вперед задней стенкой ковша, причем регулируемый зазор между режущей кромкой ковша и поверхностью земли определяет толщину укладываемого слоя грунта;

5) обратный (холостой) ход машины в забой.

Таблица 7.2

График рабочего цикла скрепера

№ п/п	Наименование операции	Время, с					Продолжительность, с	
		0	5	10	15	20		25
1	Зарезание грунта и наполнение ковша		—					25
2	Транспортировка грунта на место выгрузки			—	—			61
3	Разгрузка грунта с послышной укладкой его в насыпь					—		19
4	Холостой ход						—	46
<i>Итого</i>								151

При разработке грунта из боковых резервов с перемещением его в насыпь применяют схемы движения скреперов, приведенные на рис. 7.8.

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 схема*, а из двусторонних резервов на дороге категории I — *спиральная схема* движения скрепера. Схема по восьмерке применяется при разработке

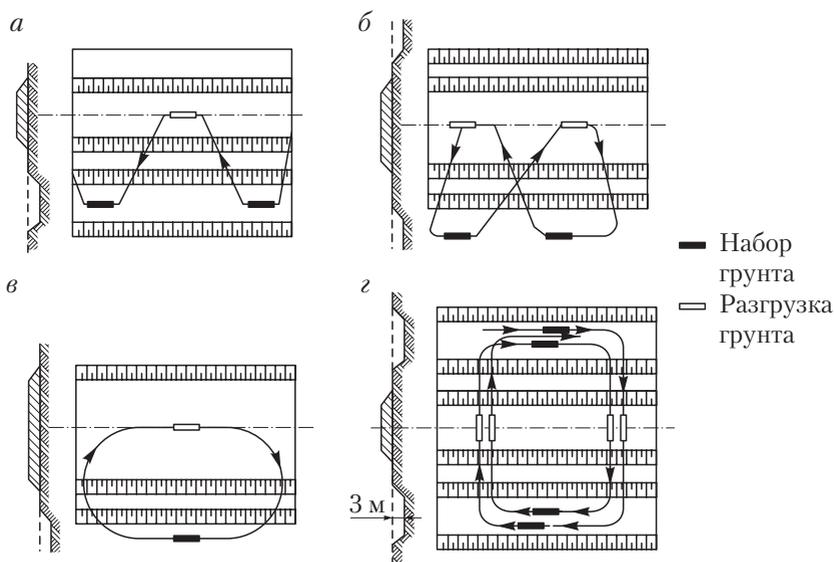


Рис. 7.8. Схемы движения скреперов при разработке грунта:  
*a* — по зигзагу; *б* — по восьмерке; *в* — по эллипсу; *з* — по спирали

грунта из односторонних резервов и ограниченной длине участка. Работы следует выполнять одновременно на двух захватках: на одной — отсыпка насыпи, на другой — разравнивание и уплотнение грунта. Песчаные грунты выгружают слоями 10...15 см, глинистые — слоями 20...25 см.

Таким образом, скрепер является универсальной машиной, заменяющей работу экскаватора, автомобиля-самосвала и бульдозера. Схемы работы скрепера позволяют сооружать земляное полотно не только из грунта, разрабатываемого в сосредоточенных резервах, но и в притрассовых.

Разработку выемок протяжением более 100 м с транспортированием грунта в смежные с ними насыпи на расстояние до 600 м выполняют прицепными скреперами, работающими с гусеничными тягачами, а при расстоянии от 600 м до 1,5...3 км — полуприцепными скреперами, работающими с колесными тягачами и самоходными скреперами.

Технологическая схема возведения земляного полотна скрепером представлена на рис. 7.9.

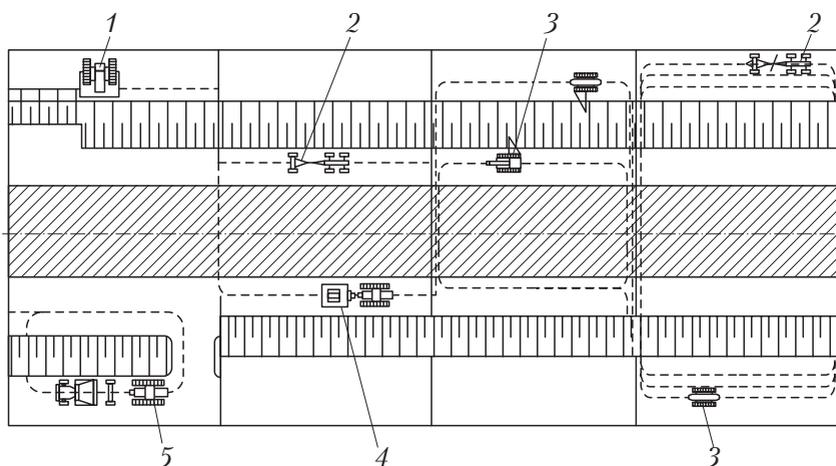


Рис. 7.9. Схема возведения земляного полотна скрепером:

1 — бульдозер; 2 — автогрейдер; 3 — бульдозер с откосником; 4 — каток;  
5 — прицепной скрепер

Таким образом, применение скрепера при отсыпке насыпи земляного полотна позволяет снизить расходы, повысить производительность труда и сократить сроки строительства.



## 7.5. Экскаваторные работы

Одноковшовые экскаваторы применяют при производстве сосредоточенных земляных работ и отсыпке насыпей из отдаленных резервов. Экскаваторы на гусеничном ходу используют на сосредоточенных работах, когда не требуются частые перебазировки, а также при слабых основаниях. Экскаваторы на пневмоколесном ходу целесообразно применять при грунтах с достаточной несущей способностью на рассредоточенных работах. При разработке грунта в сосредоточенных резервах с погрузкой его в транспортные средства применяют экскаваторы с оборудованием: прямая лопата, обратная лопата, драглайн, а также фронтальные погрузчики в сочетании с бульдозерами, средства гидромеханизации.

Рабочий цикл экскаватора (табл. 7.3) включает такие операции, как набор грунта, подъем ковша с поворотом экскаватора, выгрузка грунта и возвращение в забой.

Таблица 7.3

График рабочего цикла экскаватора

№ п/п	Наименование операции	Время, с						Продолжительность, с			
		0	4	8	12	16	20	24			
1	Набор грунта в ковш экскаватора	—		—		—		—		8	8
2	Подъем ковша			—		—		—		3	3
3	Поворот платформы для выгрузки			—		—		—		7	7
4	Разгрузка ковша					—		—		1	1
5	Обратный поворот к забою					—		—		6	6
6	Опускание ковша							—		3	3
<i>Итого</i>										28	21

*Примечания:* 1 — продолжительность работы при выдерживании каждой операции; 2 — продолжительность при совмещении операций.

Основные объемы работ выполняют экскаваторами с оборудованием прямой лопаты. Драглайн применяют при необходимости разработки грунта, расположенного ниже уровня стоянки экскаватора, когда работа с подошвой забоя затруднена из-за наличия грунтовых вод (рис. 7.10). Обратную лопату применяют при разработке траншей и котлованов под фундаменты.

Разработку выемки или карьера экскаватором прямой лопаты производят:

□ боковым забоем, когда транспортные средства размещают сбоку экскаватора в одном или разном уровнях с ним (рис. 7.11, а);

□ лобовым забоем, когда экскаватор разрабатывает траншею, а грунт выгружают в транспортные средства, размещенные сзади экскаватора на дне этой траншеи в одном с ним уровне (рис. 7.11, б).

Разработка боковым забоем предпочтительней, так как обеспечивает лучшие условия для подъезда и погрузки транспортных средств. Размеры забоев определяются рабочими размерами применяемых моделей экскаваторов. Рекомендуемые размеры забоев при работе экскаватора прямой лопаты с погрузкой грунта в транспортные средства приведены в табл. 7.4.

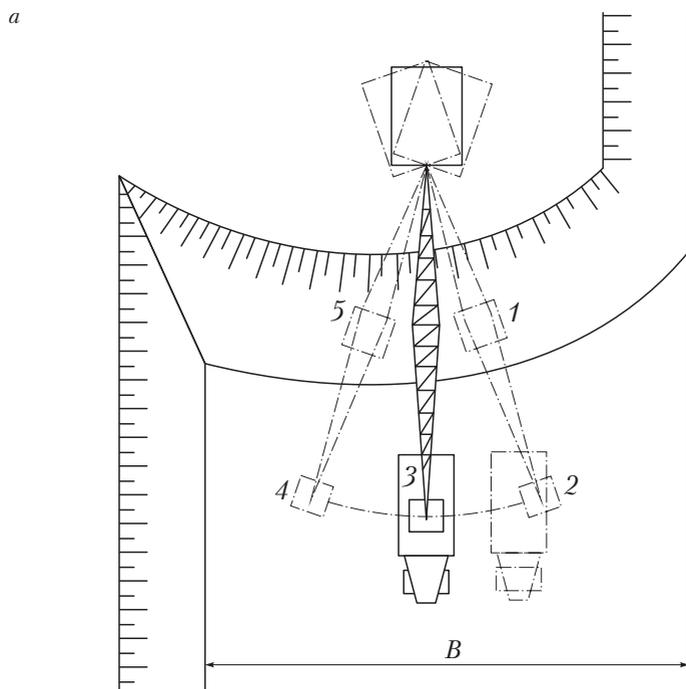


Рис. 7.10. Схема работы экскаватора с оборудованием драглайн (*a*) и общий вид котлована (*б*) при загрузке автомобилей-самосвалов грунтом

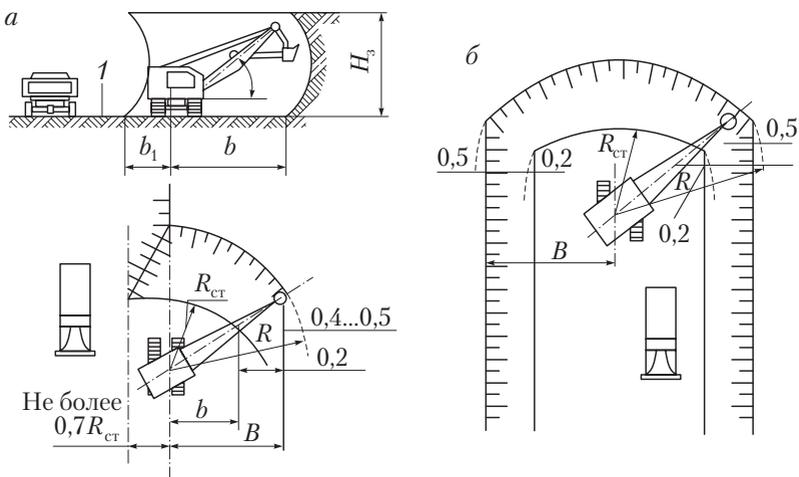


Рис. 7.11. Схема забоя при погрузке грунта в автомобили-самосвалы: *a* — бокового; *б* — лобового; 1 — вешка-указатель места погрузки;  $R$  — радиус резания;  $R_{ст}$  — радиус резания на уровне стоянки;  $B$  — расстояние от оси вращения экскаватора до верхней точки откоса;  $b$  — расстояние от оси вращения экскаватора до нижней точки откоса;  $b_1$  — наименьший радиус выгрузки;  $H_3$  — высота забоя

Таблица 7.4

**Рекомендуемые размеры забоев (проходок) при разработке грунта с погрузкой в транспортные средства, м**

Показатели	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>			
	0,5	0,65	1...1,35	1,5
<i>Погрузочный путь на уровне подошвы забоя</i>				
Ширина подошвы забоя от оси пути экскаватора до:				
стенки забоя	4,0	4,5	5,0	5,0
места погрузки грунта	2,8	3,0	3,6	3,6
<i>Погрузочный путь выше уровня подошвы забоя</i>				
Ширина подошвы забоя от оси пути экскаватора до:				
стенки забоя	4,0	4,5	5,0	5,0
места погрузки грунта	2,5	3,0	2,5	2,5
Наибольшая высота резания	6,5	6,5...8,0	8,0...9,0	9,0...9,9

Окончание табл. 7.4

Показатели	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>			
	0,5	0,65	1...1,35	1,5
Наименьшая допустимая высота забоя в грунтах:				
легких (I и II группы)*	0,7	0,7	0,9	0,9
средних (III группа)*	1,0	1,0	1,15	1,3
тяжелых (IV группа)*	1,5...2,1	1,8...2,5	1,8...2,5	2,0...2,5

\* Грунты естественного сложения по трудности разработки подразделяются (по НРР 8.03.101–2012) на четыре группы в зависимости от вида землеройной машины. При разработке грунта одноковшовым экскаватором в забое грунт относится к группе:

I – гравийно-галечниковый (крупностью до 80 мм) – со средней плотностью 1,75 г/см<sup>3</sup>, растительный – 1,2...1,4 г/см<sup>3</sup>, пески, супеси, суглинки (крупнее 2 мм до 10 %) – 1,6 г/см<sup>3</sup>, лёсс – 1,6...1,8 г/см<sup>3</sup>, торф – 0,8...1,0 г/см<sup>3</sup>, чернозем мягкий – 1,3 г/см<sup>3</sup>;

II – гравийно-галечниковый (крупностью свыше 80 мм) – со средней плотностью 1,95 г/см<sup>3</sup>, глина мягко- и тугопластичная – 1,75...1,8 г/см<sup>3</sup>, пески, супеси и суглинки – 1,8 г/см<sup>3</sup>, суглинок легкий мягко- и тугопластичный – 1,75 г/см<sup>3</sup>, чернозем твердый – 1,2 г/см<sup>3</sup>, щебень – 1,75...1,95 г/см<sup>3</sup>;

III – гравийно-галечниковый (крупностью свыше 80 мм с содержанием валунов до 10 %) – со средней плотностью 1,95 г/см<sup>3</sup>, глина с примесями более 10 % – 1,85...1,9 г/см<sup>3</sup>;

IV – глина твердая карбонатная – со средней плотностью 1,95...2,15 г/см<sup>3</sup>.

Разработка выемок одноковшовым экскаватором (рис. 7.12) должна осуществляться с недобором грунта до проектного очертания выемки во избежание нарушений естественной структуры грунта в основании и на откосах выемки.

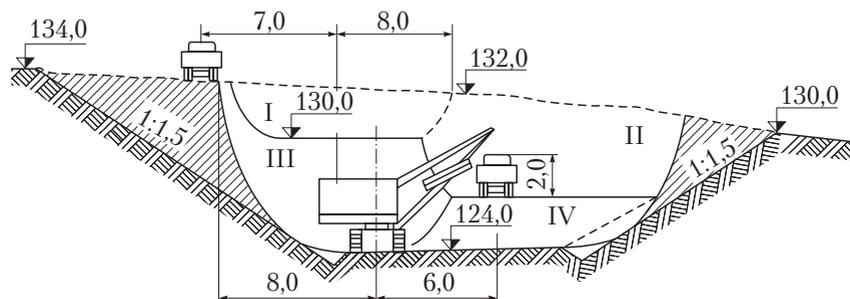


Рис. 7.12. Разработка выемки экскаватором, оборудованным прямой лопатой, с погрузкой в транспортные средства (I–IV – уступы разработки)

Недобор — это остаток невыработанного грунта на откосе или основании выемки при работе экскаватора, оставляемый с целью обеспечения максимальной плотности грунта естественного сложения.

Размеры недобора грунта принимают по табл. 7.5 в зависимости от вида оборудования и вместимости ковша экскаватора. Объем недоборов входит в профильный объем выемки. Допускается принимать объем недобора в количестве 2 % от объема выемки.

Таблица 7.5

**Допускаемый недобор грунта при разработке выемок, см**

Рабочее оборудование	Вместимость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>		
	0,5...0,65	0,8...1,25	1,5...1,6
Прямая лопата	10	10	15
Драглайн	20	25	30

Срезку недоборов в основании и на откосах выемки осуществляют бульдозерами, автогрейдером или экскаваторами-планировщиками с последующей погрузкой в транспортные средства экскаватором или погрузчиком и вывозкой в соседние насыпи или (при невозможности вывозки в насыпь) в кавальер.



## 7.6. Транспортные работы

Для транспортирования грунта из выемок и сосредоточенных резервов используют автомобили-самосвалы, землевозные самоходные тележки-думперы, большегрузные саморазгружающиеся землевозы — прицепные и полуприцепные с автотягачами. Движение транспортных средств, занятых на перемещении грунта, регулируют по всей ширине отсыпаемого слоя насыпи, чтобы не образовывать колеи и обеспечивать более равномерное уплотнение слоя. Количество транспортных средств, необходимых для перевозки грунта, определяют расчетом для каждого случая с учетом фактических условий работы и дальности транспортирования грунта в насыпь.

При выборе транспортных средств для совместной работы с экскаваторами наилучшие технико-экономические показатели достигаются при следующих условиях:

- вместимость транспортной единицы превышает вместимость ковша экскаватора в 3–4 раза;
- фронт погрузки у экскаватора обеспечивает возможность одновременного подъезда к нему двух транспортных единиц;
- состояние путей транспортирования обеспечивает оптимально высокие скорости движения транспортных средств.

Количество автосамосвалов, потребное для обеспечения работы экскаватора, определяют из выражения

$$N = \frac{\Pi_{\text{э}}}{\Pi_{\text{а}}},$$

где  $\Pi_{\text{э}}$  — производительность экскаватора, м<sup>3</sup>/см.;  $\Pi_{\text{а}}$  — производительность автосамосвала, т/см.

Суточная производительность транспортных средств определяется из выражения

$$\Pi_{\text{а}} = \frac{T_{\text{н}} v K_{\text{пр}} \Gamma K_{\text{г}} L_{\text{г}}}{(L_{\text{г}} + t v K_{\text{пр}}) \rho}, \text{ т} \cdot \text{км},$$

где  $T_{\text{н}}$  — время в наряде одного автомобиля, ч;  $v$  — средняя техническая скорость автомобиля, км/ч;  $K_{\text{пр}}$  — коэффициент использования пробега (отношение пробега с грузом к общему пробегу);  $\Gamma$  — грузоподъемность транспортного средства, т;  $K_{\text{г}}$  — коэффициент использования грузоподъемности (изменяется от 0,4 при перевозке опилок и торфа до 1,0 при перевозке щебня, гравия, песка);  $L_{\text{г}}$  — среднее расстояние пробега с грузом, км;  $t$  — продолжительность простоя автомобиля под погрузкой и разгрузкой за одну поездку, с;  $\rho$  — плотность грунта в рыхлом сложении (насыпная), т/м<sup>3</sup>.



## 7.7. Расчет ресурсов для возведения земляного полотна

*Расчет ресурсов бульдозерных работ* производят в такой последовательности.

1. Рассчитывают количество смен, необходимых для выполнения земляных работ с использованием бульдозера, для чего определяют:

□ норму времени в машиночасах ( $H_{вр}$ ) по НРР 8.03.101–2012 «Нормативы расхода ресурсов в натуральном выражении на строительные конструкции и работы. Сборник 1. Земляные работы», раздел 04 «Разработка грунта бульдозерами» с учетом мощности бульдозера, расстояния перемещения и группы грунта по трудности разработки;

□ производительность бульдозера

$$П_6 = \frac{1000}{H_{вр}} T,$$

где 1000 — единица измерения для выбора нормы расхода;  $T$  — продолжительность смены, ч;  $H_{вр}$  — норма времени в машиночасах, необходимая для выполнения единицы работы;

□ количество смен для выполнения всего объема работ одним бульдозером

$$N_{см} = \frac{V_6}{П_6},$$

где  $V_6$  — объем работ, предназначенный для выполнения бульдозерами, м<sup>3</sup>.

2. Определяют объем работ и норму времени для рабочей силы и механизмов на уплотнении грунта:

□ объем выполненных работ

$$V_{упл} = \frac{V_6}{1,1 \cdot 2},$$

где  $V_6$  — объем работ, выполненный бульдозерами, · 10<sup>3</sup> м<sup>3</sup>; 1,1 — коэффициент относительного уплотнения; 2 — соотношение грунта, поливаемого водой и не поливаемого;

□ норму времени для рабочей силы и механизмов на уплотнении определяют по разделу 02 «Другие виды земляных работ, подготовительные, сопутствующие и укрепительные работы» (табл. 1-130 «Уплотнение грунта прицепными катками на пневматическом ходу 25 т») аналогично п. 1.

3. Рассчитывают количество бульдозеров, необходимых для выполнения определенного объема земляных работ:

$$N_{\text{маш}} = \frac{\text{Треб. [маш.-ч (чел.-ч)]}}{N_{\text{см}} T},$$

где Треб. [маш.-ч (чел.-ч)] — требуемое количество маш.-ч или чел.-ч, равное сумме этих видов работ, необходимых для выполнения всего объема бульдозерных работ.

Бульдозеры применяются:

- для перемещения грунта до 100 м при возведении насыпи;
- разравнивания грунта (перед уплотнением), доставленного на участок автомобилями-самосвалами и выгруженного в виде куч;
- содержания проездов.

*Расчет ресурсов скреперных работ* производят в той же последовательности, что и для бульдозерных работ: определяют производительность скрепера; количество смен для выполнения всего объема одним скрепером; количество машин, необходимых для выполнения всего объема за определенное количество смен, определяемых способом пропорции.

Численные значения нормы времени определяют по разделу 03 «Разработка грунта скреперами» в зависимости от емкости ковша, расстояния перемещения и группы грунта по трудности разработки (табл. 1-22 «Разработка грунта скреперами прицепными», табл. 1-23 «Разработка грунта скреперами самоходными»). Среднюю норму времени для скрепера (маш.-ч) определяют как среднеарифметическое значение для расстояния перемещения грунта на 200 м, 300 м и т.д.

*Расчет ресурсов экскаваторных работ* выполняют аналогично. Норму времени определяют по разделу 02 «Разработка грунта экскаваторами с погрузкой на автомобили-самосвалы» (табл. 1-16 «Экскаваторами одноковшовыми электрическими на гусеничном ходу», табл. 1-17 «Экскаваторами одноковшовыми дизельными на гусеничном ходу») для экскаватора и рабочих-строителей с учетом

вместимости ковша и группы грунта по трудности разработки. Норму времени работ при выторфовывании определяют по разделу 01 «Разработка грунта в отвал экскаваторами «Драглайн» или «Обратная лопата» (табл. 1-11 «Экскаватором одноковшовым электрическим на гусеничном ходу», табл. 1-12 «Экскаватором одноковшовым дизельным на гусеничном ходу») для экскаватора и рабочих-строителей с учетом вместимости ковша и группы грунта по трудности разработки.

*Расчет ресурсов грейдерных работ* выполняют:

- при предварительной планировке грунта, доставленного автомобилями-самосвалами из карьера и разровненного бульдозером;
- планировке верха и откосов земляного полотна.

Норму времени принимают по разделу 07 «Разработка грунтов и устройство дренажей в водохозяйственном строительстве» (табл. 1-87 «Планировка дна и откосов выемки, гребня и откосов насыпи прицепными грейдерами») или разделу 02 «Другие виды земляных работ, подготовительные, сопутствующие и укрепительные» (табл. 1-145 «Планировка площадей, откосов, полотна выемок и насыпей автогрейдером среднего типа или экскаватором-планировщиком») с учетом марки трактора, марки грейдера, группы грунта по трудности разработки.

При уплотнении грунта осуществляется его *поливка водой*. Эта операция выполняется с помощью поливочной машины с участием рабочих-строителей (табл. 1-135 «Полив водой уплотняемого грунта насыпей»). Норму времени для прицепного пневмокатка и трактора определяют по разделу 02 «Другие виды земляных работ, подготовительные, сопутствующие и укрепительные» (табл. 1-130 «Уплотнение грунта прицепными катками на пневмоколесном ходу 25 т», табл. 1-131 «Уплотнение грунта прицепными кулачковыми катками 8 т», табл. 1-132 «Уплотнение грунта самоходными вибрационными катками 2,2 т») с учетом толщины уплотняемого слоя и количества проходов по одному следу.

На основании расчетного количества машин по каждому виду работ комплектуют машино-дорожные отряды, бригады, звенья, представляющие собой производственные единицы, которые выполняют законченный технологический процесс. К ним относятся бульдозерное, скреперное, экскаваторное звено, звено на выторфовывании.

## УПЛОТНЕНИЕ ГРУНТА ПРИ СООРУЖЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА



### 8.1. Общие положения

---

**Уплотнение** — механизированный способ уменьшения пустот в грунтах, сопровождающийся сближением частиц и агрегатов и выжиманием воздуха. При этом изменяются свойства грунта: уменьшается пористость, возрастает число контактов частиц в единице объема, увеличивается прочность, уменьшается водопроницаемость, изменяются температурные характеристики.

Основным параметром процесса уплотнения, определяющим его эффективность, является плотность материала. Эффективность уплотнения зависит от величины уплотняющих нагрузок и времени их действия. Поэтому основная задача теории уплотнения — установление связи между плотностью материала, величиной уплотняющих нагрузок и времени их действия.

Процесс уплотнения заключается в необратимом сжатии зернистой системы под воздействием главных нормальных напряжений, которые прямо пропорциональны уплотняющей нагрузке. Сближение частиц происходит в результате приложения к ним циклической нагрузки. В процессе нагрузки напряжение в грунте повышается до наибольшего значения, при разгрузке — понижается. Под скоростью изменения напряженного состояния при циклической нагрузке понимается скорость изменения напряжения во времени:

$$\frac{d\sigma}{dt_{\text{н}}} \approx \frac{2\sigma}{t_{\text{н}}},$$

где  $\sigma$  — величина нормального напряжения;  $t_n$  — время действия нормального напряжения.

Уплотнение грунтов, из которых сооружается земляное полотно, является технологическим процессом, в результате которого достигаются расчетная прочность, устойчивость и стабильность дорожной конструкции.

Процесс уплотнения может быть статический и динамический. *Статическое уплотнение* осуществляется за счет многократного приложения статического давления. К нему относится укатка, выполняемая катками (гладковальцовыми, на пневматических шинах, кулачковыми, решетчатыми и др.). По компоновке рабочих органов (вальцов) катки могут быть: одно-, двух-, трехвальцовые; по способу управления — самоходные, прицепные, полуприцепные к седельному тягачу. *Уплотнение динамическое* осуществляется за счет приложения импульса нагрузки — удара, вибрационного или сейсмического колебания. К динамически уплотняющим механизмам относятся виброкатки, виброплиты, ударные механизмы и др.

Для уплотнения связных грунтов целесообразно применять катки статического уплотнения, несвязных грунтов — катки динамического уплотнения, а также катки на пневматических шинах. Уплотнение рыхлых, особенно глинистых, грунтов следует производить двумя видами катков: предварительное уплотнение (прикатка) — массой 6...12 т, окончательное уплотнение — массой более 25 т.

Контактное давление на протяжении всего процесса уплотнения должно быть близко к пределу прочности грунта. При превышении предела прочности грунта могут возникнуть явления местного разупрочнения: волнообразование перед колесами катков, выдавливание грунта в стороны при трамбовании.

Каждый последующий проход уплотняющей машины по одному следу нельзя делать до тех пор, пока вся ширина земляного полотна не будет перекрыта следами предыдущего прохода уплотняющей машины; на насыпях шириной более 20 м допускается продольное деление захваток.

При влажности менее допустимой несвязные и малосвязные грунты рекомендуется увлажнять в отсыпанном слое незадолго перед уплотнением. Связные грунты, в которых перераспреде-

ние влаги идет медленнее, рекомендуется увлажнять на месте разработки (в карьере, выемке, резерве) после их разрыхления.

При интенсивных кратковременных дождях, приводящих к переувлажнению грунтов, отсыпку и уплотнение связных грунтов следует прекращать до их просыхания. В этом случае принимают меры к ускорению просушивания грунтов (рыхление, перевалка грейдерами, бульдозерами и т.п.). Допускается удалять верхний, переувлажненный после дождя слой грунта в отвал с последующим его использованием в других местах.

Таблица 8.1

**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
	40...60	25...40
Решетчатый прицепной каток	25...35	25...40
Трамбующая машина	Навесная на тракторе	30...50
Трамбующая плита на экскаваторе	2	70...90

Толщина слоя отсыпки в зависимости от вида грунта, характера уплотнения и массы уплотняющего органа (ТКП 313–2011) может составлять 20...40 см, 40...50, 70...80, 100...120 см. Уточнение толщины слоя производят по результатам пробного уплотнения грунтов. Ориентировочная толщина слоя грунта, уплотненного различными машинами, представлена в табл. 8.1.



## 8.2. Уплотнение грунта укаткой

**Укатка** — статическое уплотнение с помощью катков с металлическими вальцами (гладковальцовые, полигональные) или катков на пневматических шинах.

При приложении к грунту большой нагрузки его деформация может осуществляться не за счет уменьшения пористости, а за счет

просадки грунта или пластичного трения. В этом случае эффект уплотнения отсутствует, а возникают пластические деформации в виде волн. Во избежание пластических деформаций и сдвигов каток не должен быть слишком тяжелым. Поэтому вначале уплотнение осуществляют легкими катками массой 6...12 т, этот процесс называют *прикаткой* и им выполняют 30...40 % от общего потребного количества проходов. После прикатки выполняют основное уплотнение более тяжелыми катками. У легких катков среднее удельное давление на поверхность изменяется от 0,7 до 1,5 МПа, средних — 0,75...1,7 МПа, тяжелых — 1,2...2,5 МПа.

Предварительная прикатка не требуется, когда слой грунта отсыпается с регулированием движения транспортных и землеройно-транспортных машин по всей ширине насыпи. Землевозный транспорт выполняет первую стадию укатки до плотности около 0,9 от ее максимального значения по стандартному уплотнению (см. 2.5).

Технология производства работ по уплотнению грунта зависит от вида уплотняющего механизма, даже если сравниваемые варианты относятся к одной категории уплотнения. Например, уплотнение грунта прицепными кулачковыми и решетчатыми катками выполняется круговыми проходами по рабочей захватке. Укатка производится от краев насыпи к ее середине (рис. 8.1) с перекрытием полос уплотнения на 0,15...0,20 м.

Уплотнение *кулачковыми катками* эффективно для связных грунтов. Рекомендуются следующие оптимальные удельные давления на опорную поверхность кулачков при уплотнении грунтов:

- супеси тяжелые пылеватые, легкие суглинки — 0,7...1,5 МПа;
- суглинки легкие пылеватые, суглинки тяжелые — 1,5...4,0 МПа;
- суглинки тяжелые пылеватые, глины — 4,0...6,0 МПа.

Для предотвращения обрушения откосов и сползания катков расстояние от кромки вальца до бровки отсыпаемого слоя должно быть не менее 0,3 м. Для работы прицепных катков оптимальные размеры захватки должны быть не менее 200 м по всей ширине насыпи.

Прицепные *решетчатые катки* наиболее эффективны при уплотнении крупнообломочных и гравелистых грунтов с мерзлыми комьями. Для окончательного уплотнения применяют тяжелые катки на пневматических шинах и вибрационные катки.

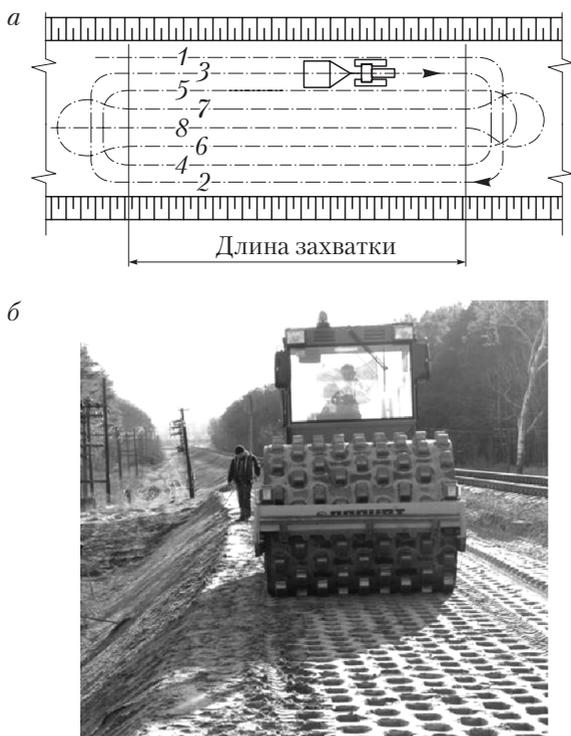


Рис. 8.1. Уплотнение грунта трактором с прицепным кулачковым или решетчатым катком:  
 а — схема движения (1–8 — последовательность проходов);  
 б — внешний вид после уплотнения

Уплотнение грунта прицепными кулачковыми и решетчатыми катками выполняется круговыми проходами по рабочей захватке.

Уплотнение грунта прицепным катком на пневматических шинах выполняется с учетом того, что первый и второй проходы необходимо делать на расстоянии 2 м от бровки насыпи, затем, сменяя ходы на  $1/3$  ширины катка в сторону бровки, уплотнить края насыпи и только после этого перейти к уплотнению центральной части (рис. 8.2).

Катки на пневматических шинах наиболее универсальное средство уплотнения грунтов. Одно из основных требований при уплотнении связных грунтов, обеспечивающих получение плотной

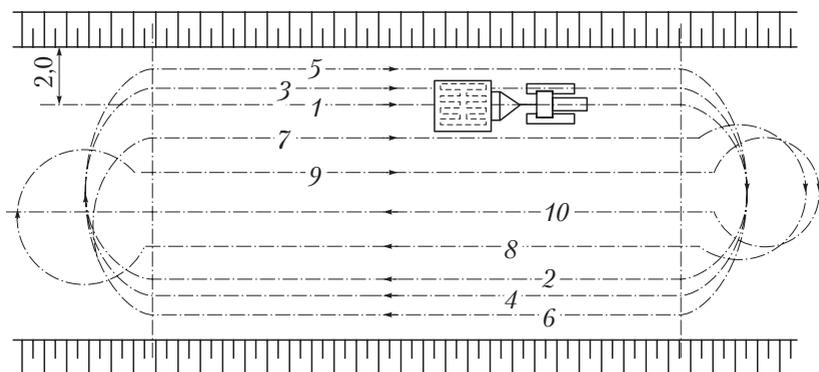


Рис. 8.2. Схема работы прицепного катка на пневматических шинах (1–10 — последовательность проходов)

и прочной структуры грунта, — постепенное повышение удельного давления. На начальном этапе уплотнения связных грунтов давление в шинах катка не должно превышать 0,2...0,3 МПа. На заключительном этапе оно должно соответствовать: при уплотнении супесей 0,3...0,4 МПа, суглинков — 0,6...0,8 МПа. При уплотнении песков давление в шинах на всех стадиях уплотнения не должно превышать 0,2...0,3 МПа.



### 8.3. Вибрационное уплотнение грунта

**Виброуплотнение** — динамическое уплотнение в результате одновременного воздействия колебаний массы уплотнителя и давления. При вибрировании частицы грунта смещаются относительно друг друга, занимая более устойчивое положение. Вибратор используется самостоятельно или является рабочим органом вибрационной машины. Наибольшее распространение получили центробежные электрические вибраторы с дебалансом, вращающимся от электродвигателя. Вибромашины характеризуются массой, размерами рабочего органа, вынуждающей силой, частотой колебаний.

При приложении быстродействующей и часто повторяющейся нагрузки (вибрации) к переувлажненному грунту наблюдается явление тиксотропии, которое заключается в разжижении грунта

при встряхивании. Процесс тиксотропии обратим и с течением времени грунт приобретает нормальную консистенцию.

Необходимую продолжительность вибрирования определяют из выражения

$$t = \frac{C}{n},$$

где  $C$  — число приложений нагрузки при вибрировании, необходимое для достижения заданной плотности;  $n$  — число колебаний вибратора в минуту.

Вибрирование применяют для уплотнения крупнообломочных, песчаных, несвязных и малосвязных глинистых грунтов. Одномерные пески эффективно уплотняют только вибрированием. Тяжелые виброкатки (массой 9...25 т) применяются для уплотнения связанных грунтов (суглинков, глина) при высоте насыпаемого слоя более 40 см с высокой амплитудой (1,0...1,9 мм) и низкой частотой вибрации (25...35 Гц); легкие виброкатки (массой менее 9 т) — несвязанных материалов (гравий, песок) при высоте насыпаемого слоя менее 40 см с низкой амплитудой (< 1,0 мм) и высокой частотой вибрации (35...45 Гц).

Прицепными и самоходными виброкатками массой 4...5 т уплотняют грунт слоями 40...50 см, катками с большей массой можно уплотнять песчаные грунты на глубину 60...80 см и более. Количество проходов машины по одному следу при влажности грунта, близкой к оптимальной, принимается равным 4–5.

Толщина слоя, уплотняемого гладковальцовым виброкатком, при оптимальной влажности грунта составляет:

- пески крупные, средние, песчано-гравийная смесь — 9...10 см;
- пески мелкие — 6...7 см;
- супесь легкая крупная и легкая — 4...5 см.

Прицепные виброкатки работают в основном по круговой схеме движения, самоходные виброкатки — челночным способом.

Повышение эффекта уплотнения несвязных грунтов вибрированием достигается при влажности грунтов, составляющей 1,1...1,2 от оптимальной. В этом случае толщину уплотняемого слоя можно увеличить на 20...30 %.

Большим преимуществом (по сравнению с виброкатками) обладают осцилляторные катки. Осцилляторная система уплотнения

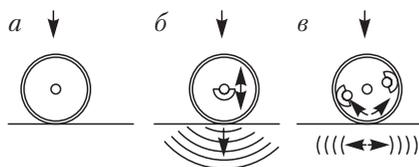


Рис. 8.3. Способы уплотнения грунта:  
 а — статика; б — вибрация;  
 в — осцилляция

заключается в направленном распространении колебательных волн (рис. 8.3). Уплотнение грунта такими катками осуществляется за счет комбинации статической нагрузки и воздействия горизонтальных сил, что позволяет вальцам постоянно прилегать к поверхности уплотняемого грунта.

Осцилляторные катки имеют ряд преимуществ перед обычными вибрационными:

- меньшее количество резонансов увеличивает его срок службы;
- эффективное уплотнение в низком температурном диапазоне;
- зерна грунта не разрушаются благодаря отсутствию вертикальных ударов;
- улучшенное уплотнение поверхности благодаря отсутствию повторного разрыхления;
- подходит для всех грунтов и слоев разной толщины;
- более комфортные условия работы водителя благодаря меньшей тряске и более низкому уровню шума.



## 8.4. Уплотнение грунта трамбованием

**Трамбование** — динамический вид уплотнения грунта за счет энергии груза, падающего с определенной высоты.

**Трамбовка** — рабочий орган трамбующей машины, предназначенной для уплотнения грунта ударами по его поверхности. Трамбовки бывают механические, свободного падения, взрыв-трамбовки, бензо-, пневмо- или электротрамбовки.

**Трамбующая машина** — машина с подвесным оборудованием свободного или принудительного падения, у которой плита (трамбовка) поднимается посредством тросов, рычажного механизма, взрыва, освобождается от захватывающего механизма и совершает падение с определенной высоты, выполняя работу по уплотнению грунта.

Трамбование применяют при доуплотнении насыпей без их разборки, в стесненных местах. Этим способом можно уплотнять грунты слоями большой толщины за 1–2 прохода машины. Трамбование позволяет получить плотность грунтов выше максимальной плотности, определенной методом стандартного уплотнения. Его можно использовать для уплотнения прочных комковатых грунтов, в том числе и крупнообломочных. Толщина уплотняемого слоя грунта равна примерно диаметру подошвы плиты.

Экскаватор с подвешенной к стреле плитой (рис. 8.4) применяют при уплотнении слоев толщиной 1...2 м, грунтов пониженной

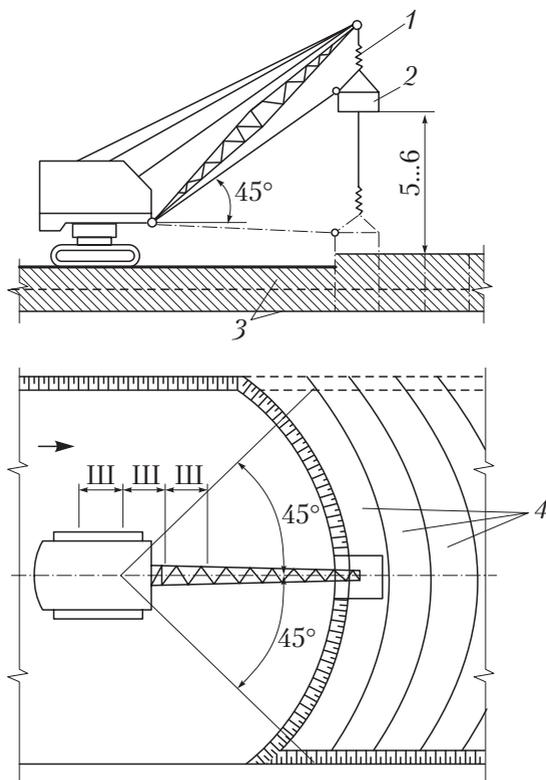


Рис. 8.4. Уплотнение грунта трамбованием плиты, подвешенной к стреле экскаватора:

1 — пружинный амортизатор; 2 — трамбовка; 3 — уплотненные слои грунта; 4 — уплотняемая полоса; III — шаг передвижки экскаватора

влажности, а также для достижения плотности грунтов выше максимальной плотности. Плита массой 2...15 т свободно падает с высоты 2...6 м. Для плиты массой 2...3 т необходим экскаватор, стрела которого выдерживает ковш вместимостью не менее 0,5...0,7 м<sup>3</sup>, для плиты 12...15 т — не менее 1,25 м<sup>3</sup>.

Трамбование рыхлого глинистого грунта ведется в два приема: предварительное и основное уплотнение. Предварительное уплотнение выполняют с уменьшением в два раза массы трамбовки или со снижением высоты падения в четыре раза; по одному следу наносится не более 2–3 ударов. По окончании уплотнения верхний рыхлый слой грунта толщиной 10...15 см следует уплотнить легкими ударами трамбовки с высоты 0,5 м или укаткой катками.

## 8.5. Уплотнение грунта на откосах



### и в стесненных условиях

Уплотнение грунтов в стесненных условиях производится при засыпке водопропускных труб, опор в конусах мостов и путепроводов, траншей, котлованов.

Засыпка *трубы* в целом должна на один слой опережать устройство насыпи на прилегающей площади. Насыпь вблизи сооружений уплотняется с помощью легкого навесного уплотняющего оборудования или легких катков. Грунт отсыпается слоями, толщина которых назначается в зависимости от типа уплотняющей машины. Для предотвращения повреждения или сдвига трубы от динамического воздействия при уплотнении грунтов тяжелыми трамбуемыми плитами от края следа до опоры моста фундамента должно быть не менее 2 м, а до боковых стенок трубы — 3 м.

Для уплотнения *откосов* земляного полотна могут быть применены катки и трамбовки, смонтированные в качестве навесного или прицепного оборудования на кранах, кранах-экскаваторах с телескопической трубой и гусеничных тягачах. Наиболее простым оборудованием является плоская виброплита диаметром 1...1,5 м и массой 2...3 т, подвешенная на тросах к стреле экскаватора-драглайна, движущегося вдоль бровки насыпи. Уплотнение начинают с нижней части откоса, постепенно подтаскивая плиту вверх, после чего переходят на следующую полосу. Этот способ применим при

высоте насыпи 4,5...5 м. При более высоких насыпях уплотнение откоса таким способом выполняют после возведения каждой 4,5...5 м высоты насыпи, а затем продолжают дальнейшую ее отсыпку.

При отсыпке *насыпей* из несвязных или малосвязных грунтов откосы можно уплотнять прицепным вибрационным катком, укрепленным на тракторной лебедке (рис. 8.5) или смонтированным на экскаваторе-драглайне. Уплотнение пологих откосов прицепными (преимущественно вальцовыми) катками возможно с применением удлиненных сцепных устройств.

Уплотнение грунта в траншеях при строительстве дорожной трубы, устройстве дренажей, прокладывании коммуникаций выполняется в две стадии:

1) засыпают пазухи у дренажной трубы, бетонных колец, трубопроводов, уплотняют, а затем отсыпают защитный слой грунта над трубой толщиной не менее 0,2 м и уплотняют легкими виброплитами (массой до 50 кг) или средствами малой механизации;

2) засыпают и механизированным способом уплотняют остальную (основную) часть траншеи.

Уплотнение насыпей из крупнообломочного грунта следует выполнять тяжелыми уплотняющими средствами: катками на пневматических шинах с нагрузкой на колесо не менее 7,5 т, решетчатыми катками массой не менее 25 т, вибрационными катками массой не менее 6 т, трамбуемыми и вибротрамбуемыми машинами с ударным контактным давлением 0,1 МПа и более. При выборе уплотняющих машин предпочтение следует отдавать:

□ для грунтов с песчаным заполнителем — вибрационным каткам, трамбуемым и вибротрамбуемым машинам;

□ с глинистым заполнителем — каткам на пневматических шинах, решетчатым каткам и трамбуемым машинам.

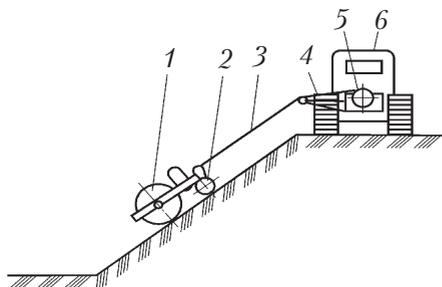


Рис. 8.5. Уплотнение откоса:  
1 — виброкаток; 2 — дополнительная колесная опора; 3 — канат; 4 — кронштейн с блоком; 5 — лебедка; 6 — трактор

Вибрационные плиты массой 100...1000 кг используют для уплотнения грунтов *в стесненных условиях* (засыпка труб, траншей) с толщиной слоя 20...60 см.

Число требуемых проходов устанавливают по величине суммарной осадки поверхности уплотняемого слоя. Условием достижения плотности может служить величина осадки в 8...10 %, для верхнего слоя — 10...12 % от первоначальной толщины слоя. Если требуемая осадка поверхности не достигается, выбранный механизм следует заменить более эффективным.

Возведение насыпей без послойного уплотнения грунтов допускается в особых случаях: на болотах (ниже поверхности болота), в водоемах (подводная часть), методом гидронамыва.

## ПЛАНИРОВОЧНЫЕ, ОТДЕЛОЧНЫЕ РАБОТЫ И РАБОТЫ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ



### 9.1. Планировочные работы

---

**Планировочные работы** — производственный процесс по изменению рельефа территории и обеспечению ровной поверхности строительной площадки или поверхности отсыпаемого слоя грунта земляного полотна на каждой захватке при строительстве дороги. Являются завершающей операцией по отделке и приданию ровной поверхности обочинам, откосам, дну резервов и канав.

Планировка поверхности насыпи и дна выемки выполняется с помощью автогрейдера (рис. 9.1).

Планировка *верха земляного полотна* осуществляется для придания поверхности окончательного ровного характера с односкатным или двускатным уклоном. Она выполняется в три стадии: грубая планировка, выравнивание и придание двускатного профиля, окончательная планировка (рис. 9.2).

Планировку *откосов насыпей и выемок* в зависимости от их крутизны выполняют бульдозерами, автогрейдерами с откосниками, экскаваторами-планировщиками, драглайнами. Выбор машин для планировки и уплотнения поверхности откосов производится в соответствии с табл. 9.1.

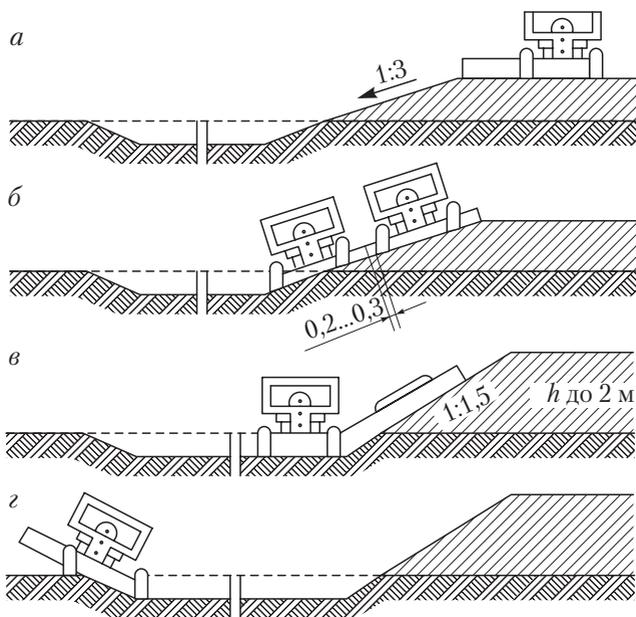


Рис. 9.1. Схема планировки земельного полотна автогрейдером: а – планировка поверхности; б – планировка откосов крутизной 1:3; в – планировка откосов 1:1,5 и высотой земельного полотна до 2 м; г – планировка внешнего откоса резерва

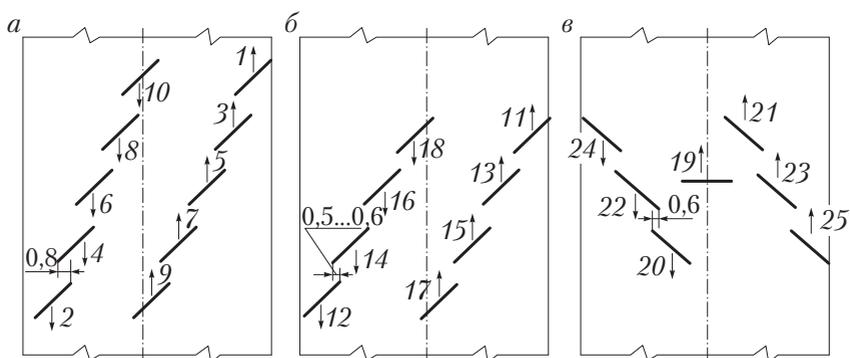


Рис. 9.2. Схемы прохода автогрейдера при планировке земельного полотна: а – грубая планировка; б – выравнивание и придание поперечного профиля; в – окончательная планировка по проектным отметкам; 1–25 – номера проходов

Таблица 9.1

## Выбор машины для планировочных работ

Тип машины	Высота откоса, м	Крутизна откоса	Производительность в смену, м <sup>2</sup>	Потребность в машинах на 1000 м <sup>2</sup> откоса, маш.-см.
<i>Планировка откоса</i>				
Бульдозер с откосопланировщиком	3,5	1:1,5 (1:2)	7 000	0,14
Автогрейдер тяжелого типа с откосником и удлинителем отвала	3,5	1:1,5 (1:2)	5 000	0,2
Экскаватор-драглайн с ковшом 0,65 м <sup>3</sup>	До 10	1:1,5	3 200	0,31
Экскаватор с планировочным ковшом	До 6	1:1,5	400	0,25
Бульдозер класса 100 кН	6...12	1:2 (1:3)	9 000...10 000	0,1
<i>Уплотнение грунта</i>				
Виброкаток, навешенный на стрелу экскаватора (ковш 1,25 м <sup>3</sup> )	До 12	1:1,5...3	4 250...5 000	0,2
		1:1,5...2	5 000...5 300	0,2

Планировка откосов автогрейдером может выполняться путем перемещения машины по поверхности откоса (при пологих откосах (1:3)), или по дну резерва, или по верху откоса с выносом отвала за габариты машины с установкой удлинителя отвала (рис. 9.3).

а



б



Рис. 9.3. Планировка откоса автогрейдером

Планировку откосов насыпей или выемок высотой до 3,5 м осуществляют 2–4 проходами тяжелого автогрейдера или бульдозера с откосниками и удлинителями отвала.

Планировку откосов высотой до 6 м осуществляют откосопланировщиком с нижней стоянки, а откосов высотой до 12 м — с верхней и нижней стоянок (рис. 9.4). Ширина планируемого участка с одной стоянки экскаватора должна быть не более 2 м, а перекрытие смежных участков — 0,3...0,5 м.

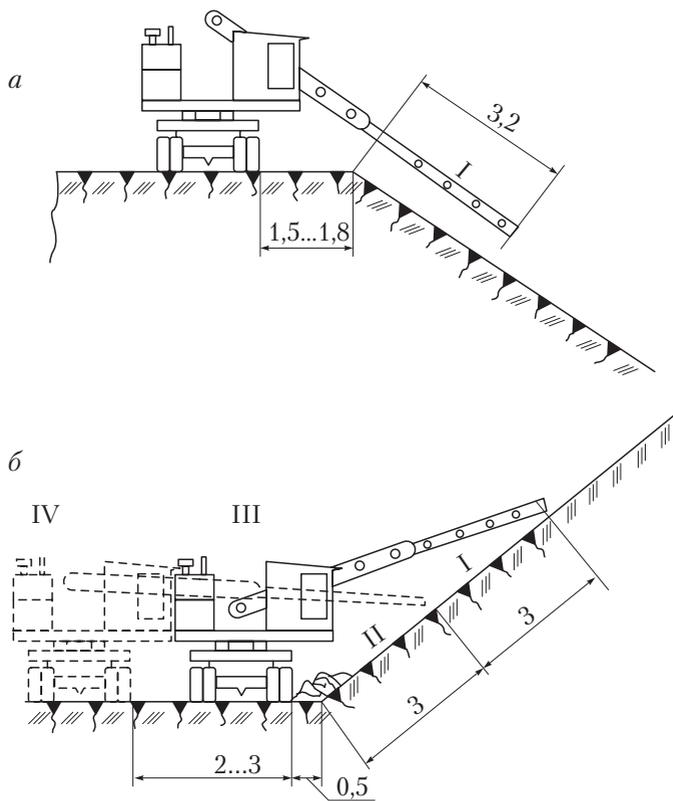


Рис. 9.4. Планировка откоса:

*a* — верхней части выемки при верхней стоянке экскаватора; *б* — нижней части выемки при нижней стоянке экскаватора; I — зона планировки откоса при ближнем расположении экскаватора; II — зона планировки при удаленном расположении экскаватора; III — место ближней стоянки; IV — место дальней стоянки



Рис. 9.5. Планировка откосов экскаваторами драглайн и обратная лопата

Откосы крутизной 1:1,75 и более пологие планируют с помощью бульдозеров, перемещающихся по откосу сверху вниз с принудительно опущенным отвалом (при гидравлическом управлении) или задним ходом снизу вверх со свободно опущенным на грунт отвалом (при канатном управлении отвалом).

Для планировки откосов высотой от 6 до 10 м применяют экскаватор-драглайн с навесным оборудованием в виде двухотвального скребка, планировочной рамы трапециевидальной формы или планировочного ковша (рис. 9.5).

При необходимости планировки откосов высотой более 10 м возможна совместная работа указанного экскаватора и автогрейдера, который планирует нижнюю часть откоса продольными проходами.

Планировку откосов высотой более 12 м необходимо выполнять в процессе устройства каждого яруса.

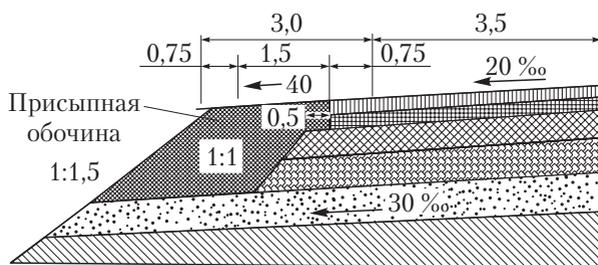
Поверхность откоса насыпи при высоте более 2 м уплотняют одновальцовым виброкатком типа ДУ-14 (Д-480А), подвешенным к стреле экскаватора-драглайна, 2–4 проходами снизу вверх. Каток поднимается подтяжным тросом и после прохождения катком всей длины откоса экскаватор передвигается на новую захватку с перекрытием прежней на 0,2...0,3 м.



## 9.2. Отделочные работы

**Отделочные работы** — заключительная стадия строительства автомобильной дороги, включающая: устройство присыпных обочин, ликвидацию временных съездов и въездов, планировку, уплотнение и укрепление обочин и откосов. Планировочные работы, входящие в отделочные, должны обеспечить, помимо ровности, соответствие планируемой поверхности проектным отметкам, что создаст необходимые условия для стока воды.

**Присыпная обочина** — боковая полоса земляного полотна между бровкой и кромкой проезжей части или укрепленной обочины, устраиваемая из насыпного грунта с последующим уплотнением, а при необходимости укреплением поверхности (рис. 9.6). Присыпная обочина сооружается после устройства дорожной одежды



Слой покрытия	Характеристика
Покрытие, верхний слой	Горячий щебенистый асфальтобетон мелкозернистый, тип А марки I — толщина 7 см
Покрытие, нижний слой	Горячий щебенистый пористый асфальтобетон крупнозернистый марки I — толщина 8 см
Верхний слой основания	Гравийный материал с добавкой 30 % щебня, обработанного битумной эмульсией, — толщина 12 см
Нижний слой основания	Гравийно-песчаная смесь, укрепленная золой-уносом, — толщина 16 см
Дополнительный слой основания	Песок — толщина 37 см

Рис. 9.6. Пример дорожной конструкции с обозначением присыпной обочины

путем доставки грунта из карьера, его выгрузки, распределения на откосах, уплотнения и профилирования в соответствии с уклоном обочины.

Ликвидация временных съездов, построенных на период строительства дороги и предназначенных для обеспечения движения транспортных средств по перемещению грузов и дорожно-строительной техники, выполняется после завершения всех строительных работ. Это довольно большой объем работ, включающий:

- снятие покрытий, если таковые имеются, с временных дорог и использование их при сооружении оснований на других участках строящейся дороги;
- выравнивание поверхности;
- доставку растительного грунта и его распределение;
- посадку травы, кустарников и деревьев



### 9.3. Рекультивация нарушенных земель

---

**Рекультивация** — процесс восстановления земель, временно занятых при строительстве дороги, в состояние, пригодное для сельскохозяйственного использования (РД 0219.1.26–2002 «Руководство по рекультивации земель, нарушаемых при дорожном строительстве»). Рекультивации в первую очередь подвергаются территории, на которых располагались резервы, карьеры, временные дороги, стоянки техники, участки маневрирования транспортных средств, временные заводы и полигоны, участки с размещенными бытовыми, служебными и производственными временными строениями.

При рекультивации выполняются следующие работы:

- перебазировка временных строений и предприятий;
- ликвидация коммуникационных сетей, имеющих временный характер на период строительства;
- снятие и, при необходимости, захоронение верхнего слоя загрязненного грунта;
- придание рекультивируемой территории уклона окружающего рельефа;
- выполаживание откосов карьеров и резервов;
- покрытие возвратных земель слоем плодородного грунта;
- посев трав и зеленых насаждений.

Для рекультивации используют хранящийся в отвалах растительный слой почвы, снятый в ходе подготовительных работ.

Проект рекультивации прилагается к землеустроительному делу на отвод земельного участка и утверждается в установленном порядке. Он составляется проектной организацией, имеющей право выполнения этих работ в соответствии с уставным перечнем видов деятельности и укомплектованной специалистами соответствующей квалификации. Работы по техническому этапу восстановления временно занимаемых земель должны выполняться не позднее чем в месячный срок после завершения работ на этих землях, исключая период промерзания почвы.

**Рекультивированные земли** — нарушенные земли, на которых восстановлена продуктивность, хозяйственная ценность и улучшены условия окружающей среды. Выделяют следующие направления рекультивации:

□ сельскохозяйственное — восстановление нарушенных земель для использования в качестве сельскохозяйственных (пашня, сенокосы, пастбища);

□ лесохозяйственное — создание лесонасаждений различного направления (противоэрозионных, водоохраных, лесопарковых, производственного назначения);

□ рыбохозяйственное — создание водоемов для рыборазведения;

□ водохозяйственное — создание водоемов различного назначения (противопожарных, для орошения, водопоя скота и т.д.);

□ рекреационное — организация зон отдыха;

□ санитарно-гигиеническое — ликвидация отрицательного воздействия нарушенных земель на окружающую территорию;

□ строительное — приведение нарушенных земель в состояние, пригодное для промышленного и гражданского строительства.

Восстановление нарушенных земель для сельскохозяйственного использования предусматривает выполнение следующих этапов:

□ технического, состоящего из приведения нарушенных площадей в порядок с приданием им требуемых уклонов, планировки, нанесения требуемого слоя плодородного растительного грунта;

□ биологического, состоящего из восстановления структуры и плодородия почвы посредством организации правильной обработки, культивации почвенного слоя и правильного севооборота.

Технический этап восстановления нарушенных земель должен осуществляться за счет сметы на строительство дороги силами строительной организации, а биологический — землепользователем в процессе сельскохозяйственного использования земель после окончания технического этапа и передачи ему восстановленных площадей по соответствующему акту.

**Уполаживание откосов** — земляные работы с целью уменьшения углов откосов отвалов и карьерных выемок. При уполаживании бортов отработанных карьеров используются различные технологические схемы перемещения грунта: с образованием полувыемки-подунасыпи, сплошной срезкой, отсыпки насыпи.

При рекультивации нарушенных земель под сельскохозяйственное использование участки должны быть спланированы с крутизной откоса не более  $12^\circ$  (1:5) и покрыты плодородным слоем почвы мощностью не менее 0,2 м (рис. 9.7).

Если рекультивированные земли планируются к использованию под лесопосадку, то уклон поверхности земли должен исключать возможность развития эрозионных процессов и не превышать  $2...5^\circ$ . Крутизна откосов на границе участка не должна превышать  $18^\circ$  (1:3) (рис. 9.8).

При рекультивации земель под рыбохозяйственное использование откосы имеют сложный контур: подводная часть на глубину до 3 м должна иметь уклон  $10^\circ$  (1:6) и ниже до угла естественного откоса, надводная часть на высоту до 2 м —  $5^\circ$  (1:11), выше 2 м —  $30^\circ$  (1:2). Подводные откосы водоемов рекреационного назначения должны быть спланированы до глубины 5 м не круче  $8^\circ$ , пляжей в пределах полосы шириной 30 м — до  $5^\circ$  (рис. 9.9).

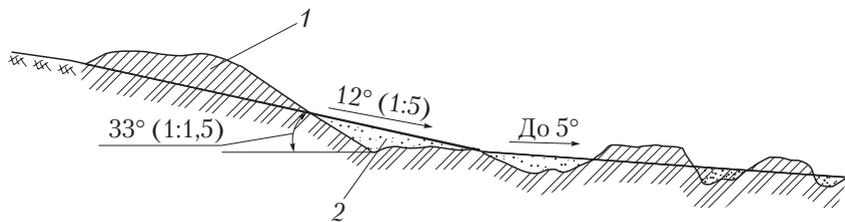


Рис. 9.7. Рекультивация нарушенных земель под сельскохозяйственное использование:

1 — срезаемый грунт; 2 — подсыпaeмый грунт

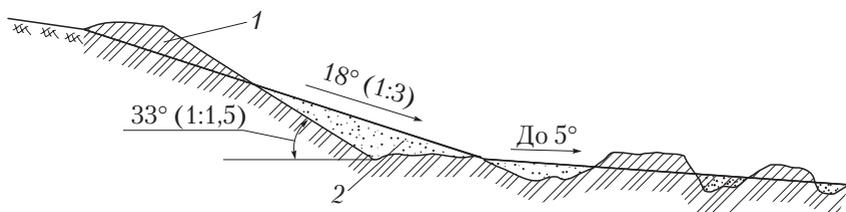


Рис. 9.8. Уполаживание откоса при использовании земли под лесопосадку:  
1 — срезаемый грунт; 2 — подсыпaeмый грунт

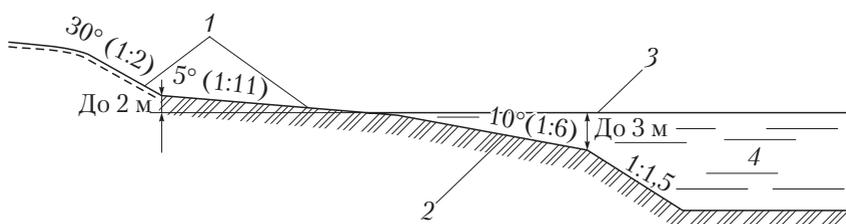


Рис. 9.9. Уполаживание откоса при рыбохозяйственном  
использовании земли:  
1 — надводные откосы; 2 — подводный откос; 3 — зеркало воды;  
4 — водоем (карьер)

Рекультивируемые земли, расположенные на косогорах, должны быть защищены от стока поверхностных вод путем устройства нагорных канав или обвалования.

Грунты, пригодные к биологической рекультивации, представлены гумусированными горизонтами различных типов почв с содержанием гумуса более 1 %, показателем концентрации водородных ионов рН 5,5...8,2, незасоленные.

## 9.4. Определение объемов земляных масс при рекультивации



Площадь рекультивируемого участка разбивается на квадраты со сторонами 10, 25, 40 или 50 м в зависимости от характера рельефа. Разбивочная сетка на плане привязывается к геодезической координатной сетке топографического плана в масштабе 1:500, 1:1000, 1:2000. Объемы земляных масс в пределах каждого квадрата под-

считываются методом суммирования рабочих отметок или методом средних рабочих отметок, числовые значения которых располагаются в углах фигуры.

*Метод средних рабочих отметок.* Объем работ в квадрате со стороной  $a$  определяется по формуле

$$V = \frac{a^2 \sum h}{4},$$

где  $\sum h$  — алгебраическая сумма рабочих отметок срезки или насыпи в вершинах квадрата.

Если  $\sum h < 0$ , то получим объем срезки  $V^-$ , если  $\sum h > 0$  — объем насыпи  $V^+$ .

*Метод суммирования рабочих отметок.* Подсчет объемов срезки и насыпи в одном квадрате со стороной  $a$  производится по формулам

$$V^- = \frac{a^2 \sum h^-}{4}; \quad V^+ = \frac{a^2 \sum h^+}{4}.$$

По данным формулам рассчитывают объемы фигур срезки и насыпи в узловых точках с учетом площади срезки (насыпи).

В том случае, когда рекультивируемая поверхность у верхней бровки и подошвы уполаживаемого откоса представляет собой ровную (выровненную) поверхность, объем земляных работ по уполаживанию откосов можно рассчитать по формуле

$$V = 0,125h^2(\text{ctg } \alpha_1 - \text{ctg } \alpha)P_0,$$

где  $h$  — высота откоса, м;  $\alpha_1$  — угол откоса после уполаживания, град.;  $\alpha$  — фактический угол борта карьера после завершения горных работ, град.;  $P_0$  — периметр откоса, м.

Уполаживание откосов производится сверху вниз, т.е. грунт, срезаемый с верхней бровки уполаживаемого откоса, перемещается к его подошве.

Площадь планировочных работ на откосе карьера, отвала и других объектов, имеющих уклон более  $6^\circ$ , определяется по формуле

$$S_{\text{пл}} = \frac{h}{\sin \alpha} l,$$

где  $h$  — средняя высота откоса, м;  $\alpha$  — угол откоса;  $l$  — длина откоса, м.

## УКРЕПИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ



### 10.1. Укрепление обочин

---

**Укрепительные работы** — это комплекс работ, направленных на увеличение прочности и устойчивости как грунтов, так и элементов дорожной конструкции. Термин «укрепление» относится к различным объектам: грунтам, откосам, обочинам, и для каждого из них имеет свои значения. Укрепление грунтов связано с повышением их физико-механических свойств различными способами: от обычного уплотнения до воздействия химическими реагентами, изменения температуры и даже воздействия электрического тока.

**Обочина** — краевая полоса земляного полотна между проезжей частью и бровкой. В зависимости от поперечного профиля земляного полотна и конструкции дорожной одежды обочины могут устраиваться различными способами:

- при корытном профиле обочины сооружаются одновременно с земляным полотном;
- при устройстве покрытий высоких категорий устраивается укрепленная обочина (укрепленная полоса) из того же материала, что и покрытие;
- присыпная обочина (остановочная полоса) устраивается из привозного грунта или смеси.

При устройстве корытного профиля грунт из корыта перемещается в сторону обочины, где разравнивается, профилируется и уплотняется. В образовавшееся корыто помещается материал, формирующий дорожную одежду. В этом случае состав материала на обочине идентичен составу грунта земляного полотна. Поскольку

материал покрытия и обочины различный, то для эффективного отвода воды с поверхности дороги обочине придают уклон на 20 % больше, чем у проезжей части.

На автомобильных дорогах высоких технических категорий для временной остановки транспорта устраивают укрепленную обочину. *Укрепленная обочина* — полоса, представляющая часть обочины со стороны дорожной одежды, устраиваемая той же конструкции, ширины, установленной в зависимости от категории дороги (I-б, I-в, II, III, IV), и с теми же параметрами поперечного профиля, что и сама дорожная одежда. Укрепленная полоса имеет такой же уклон, как и проезжая часть, от которой она отделяется разметочной линией.

*Присыпная обочина* — оставшаяся часть обочины, определяемая как разность между шириной обочины и шириной укрепленной полосы; устраивается из привозного грунта или смеси. Если она предназначена для остановки транспорта, ее называют остановочной полосой. Поперечный уклон присыпной обочины зависит от материала, из которого она изготовлена, и обычно на 10...20 % больше поперечного уклона проезжей части.

**Укрепление обочин** — способ обеспечения устойчивости обочин к размыву и оползанию путем усиления их прочности за счет добавления к грунту обочины крупнообломочных пород (щебня, гравия), обработки грунта обочины вяжущими материалами, укладки на обочины бетонных смесей либо внесения в грунт семян многолетних трав. Термин «укрепление обочин» относится к обочинам, устраиваемым при корытном профиле, и к присыпным обочинам, когда материал обочин значительно уступает по своему составу и прочности материалу покрытия. Укрепление обочин может выполняться по технологиям:

□ смешения на дороге — на дорогу доставляется крупнообломочный материал или вяжущее вещество, распределяется по грунту обочины и перемешивается с помощью фрезы с последующим профилированием и уплотнением;

□ укладки смеси, приготовленной в смесительных установках — приготовление смеси осуществляется в смесительной установке с контролем технологии процесса, а готовая смесь доставляется на дорогу, где из нее устраивают присыпную обочину либо добавляют в качестве верхнего слоя к грунтовой обочине.

Для укрепления обочин применяют гравий, щебень — обычный (осадочные, магматические или метаморфические горные породы) и обработанный органическим вяжущим, асфальтогранулят, шлак, одерновку, а также смеси грунтов с вяжущими материалами (органическими, минеральными, полимерными, комплексными), асфальтобетонную и цементобетонную смеси и т.д.

Укрепление обочин способом смешения на дороге выполняется по нормам и правилам устройства гравийных, щебеночных оснований или покрытий, смесей щебеночно-гравийно-песчаных (ГОСТ 23558–94), грунтов, укрепленных вяжущими материалами (ТКП 028–2006, ГОСТ 30491–97).



## 10.2. Укрепление откосов

**Укрепление откосов** — обеспечение устойчивости откосов земляного полотна способами, повышающими плотность и прочность грунта, из которого отсыпано земляное полотно, делающими откосы более устойчивыми к дождевым потокам и ветровой эрозии.

Откосы укрепляют уплотнением, одерновкой, мощением, каменной наброской, укладкой укрепленного грунта, бетонных плиток, нетканого материала, армированием. Выбор способа укрепления откоса производится на основании технико-экономического сравнения вариантов с учетом наличия материалов и оснащенности организации необходимыми машинами и механизмами. Применяемые способы укрепления откоса:

- биологические (посев трав, одерновка, посадка кустарника);
- с применением геотекстильных материалов (нетканый материал с зафиксированными в нем семенами многолетних трав, георешетки с заполненными грунтом ячейками);
- укладка на поверхность откосов изношенных автомобильных шин, бортовых колец, бетонных элементов, заполненных грунтом или каменным материалом;
- сплошная укладка на поверхность откоса бетонной смеси (бетонирование).

Перед началом укрепления откосов или других наклонных грунтовых поверхностей необходимо выполнить подготовитель-

ные работы, включающие очистку, планировку, выравнивание бERM, уплотнение, рабочую разбивку.

Наиболее простой и распространенный способ укрепления откоса — *биологический*, заключающийся в распределении ровным слоем на поверхности откоса грунта, оставшегося после подготовительных работ (снятия растительного слоя), и высев семян многолетних трав с последующей прикаткой почвенного слоя. Работы по укреплению откоса травами ведет комплексно-механизированная бригада на двух захватках площадью 2000 м<sup>2</sup> каждая (рис. 10.1).

На первой захватке выполняются следующие работы:

- 1) доставка растительного грунта автомобилями-самосвалами и выгрузка на обочину;
- 2) надвигка автогрейдером растительного грунта на откос;
- 3) разравнивание экскаватором-драглайном растительного грунта на откосе.

На второй захватке выполняются работы:

- 1) посев механизированным способом семян многолетних трав с одновременным внесением удобрений;
- 2) орошение поливочной машиной засеянного участка.

Этот способ может быть несколько усовершенствован за счет распределения по почвенному слою *нетканого синтетического*

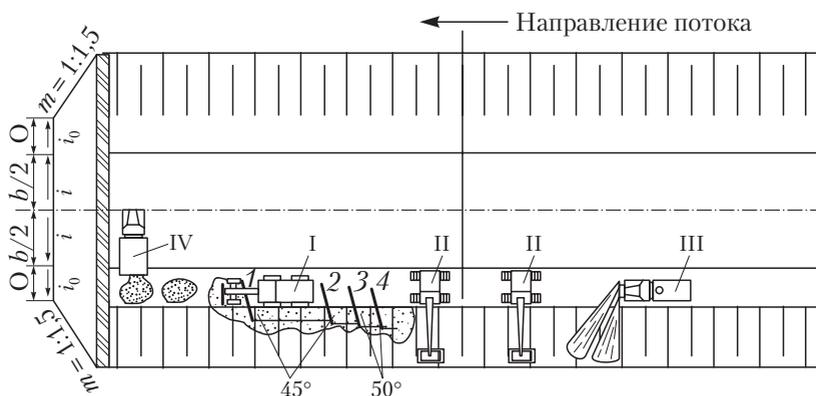


Рис. 10.1. Схема производства работ по укреплению откоса травами: I — автогрейдер, II — экскаватор-драглайн; III — поливочная машина; IV — автомобиль-самосвал; 1–4 — номера прохода автогрейдера;  $b$  — ширина дорожного полотна;  $O$  — обочина;  $i$  — уклон проезжей части;  $i_0$  — уклон обочины;  $m$  — заложение откоса

материала с закрепленными в нем семенами трав. Наличие нетканого материала обеспечит сохранность грунтов откоса от размыва на стадии прорастания семян, а проросшая корневая система травы скрепит нетканый материал с почвенным слоем, делая данную конструкцию устойчивой к потоку воды.

Технология укрепления в данном случае представляет собой разравнивание поверхности откоса и распределение по нему полотен нетканого синтетического материала (рис. 10.2). Раскатывание полотен может осуществляться как в продольном, так и в поперечном направлении.

При поперечном расположении полотна начинают раскатывать снизу вверх и нижний край полотна фиксируют в канаве глубиной 0,4 м грунтовой присыпкой. Затем рядом с перекрытием в 0,15...0,2 м укладывают следующее полотно и фиксируют область нахлеста скобами.

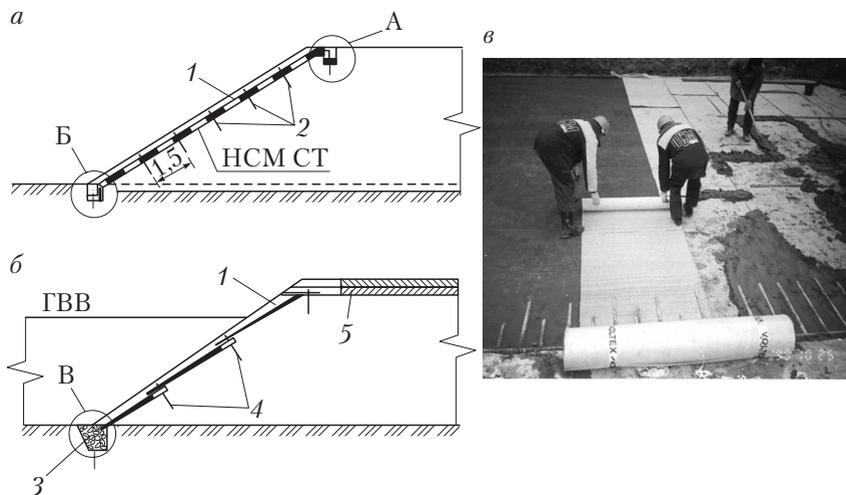


Рис. 10.2. Укрепление откоса нетканым синтетическим материалом:

*а* — схема укрепления откоса насыпи с поперечным расположением полотен; *б* — схема укрепления подтопленного откоса насыпи с продольным расположением полотен; *в* — распределение синтетического материала на откосе; 1 — растительный грунт; 2 — колья; 3 — каменная наброска; 4 — скобы; 5 — дорожная одежда; А — фиксация нетканого материала в верхней части откоса; Б — то же в нижней части откоса; В — фиксация нижней полосы синтетического материала при его продольном распределении на откосе

При продольном раскатывании полотен нижний край первого полотна фиксируют в предварительно отрытой канаве глубиной 0,5 м. Следующее полотно укладывают внахлест на первое и фиксируют скобами.

Поверх нетканого материала распределяют слой растительного грунта, по которому рассыпают зерна трав (если зерна уже имеются в нетканом материале, то эту операцию пропускают), после чего поверхность прикатывают и увлажняют.

*Гидропосев* — метод укрепления откоса земляного полотна травосеянием без использования растительного грунта. Осуществляется путем перемешивания рабочей смеси из семян многолетних трав, мульчирующего материала (опилки, солома, целлюлоза и др.), пленкообразующего материала и воды и нанесения этой смеси при помощи гидросеялки на откосы насыпи и выемки.

*Гидросеялка* — машина, смонтированная на автомобильном шасси, оборудование которой состоит из цистерны с площадкой для оператора, мешалки для рабочей смеси, гидрометателя, насоса для нанесения рабочей смеси на откос не круче 1 : 1,5 и высотой не более 15 м.

Основные технологические операции устройства конструкции гидропосевом:

- 1) планировка поверхности откоса;
- 2) приготовление рабочей смеси из семян и удобрений, их распределение;
- 3) нанесение пленкообразующего материала с прикаткой легким катком;
- 4) полив после посева.

Посев трав с помощью гидросеялок выполняют двумя проходами машины вдоль подошвы откоса или бермы, обеспечивая равномерное распределение смеси по поверхности откоса. На откосах высотой 10...12 м смесь распределяют при кратковременных остановках гидросеялки через 20...25 м, на откосах высотой от 12 до 24 м — с верхней и нижней стоянок гидросеялки, чем обеспечивается посев по всей длине откоса на ширину 10...12 м.

Укрепление откоса *сплошным бетонированием* (рис. 10.3) осуществляется следующим образом:

- 1) поверхность откоса выравнивают и уплотняют;
- 2) распределяют щебеночную смесь или раскатывают геотекстильное полотно;

3) у подножия откоса отрывают траншею, в которую укладывают бетонные балки или заливают бетон для образования упора для плит, бетонируемых на поверхности откоса;

4) на откосе устанавливают опалубку из деревянных досок толщиной 25 мм с прямоугольными ячейками размером  $1,5 \times 1,0$  м. Ячейки могут иметь и другую форму. Бетон может быть армированный, для этого перед укладкой бетона по поверхности распределяют арматуру и сваривают ее стыки;

5) на бетонном узле или заводе приготавливают бетонный раствор, который бетоновозами доставляют к объекту. Раствор должен иметь определенную жесткость, чтобы удерживаться на наклонной поверхности без расплыва;

6) бетон заливают в опалубку. Заливку начинают с нижних ячеек, постепенно поднимаясь к верхней части откоса. Для подачи

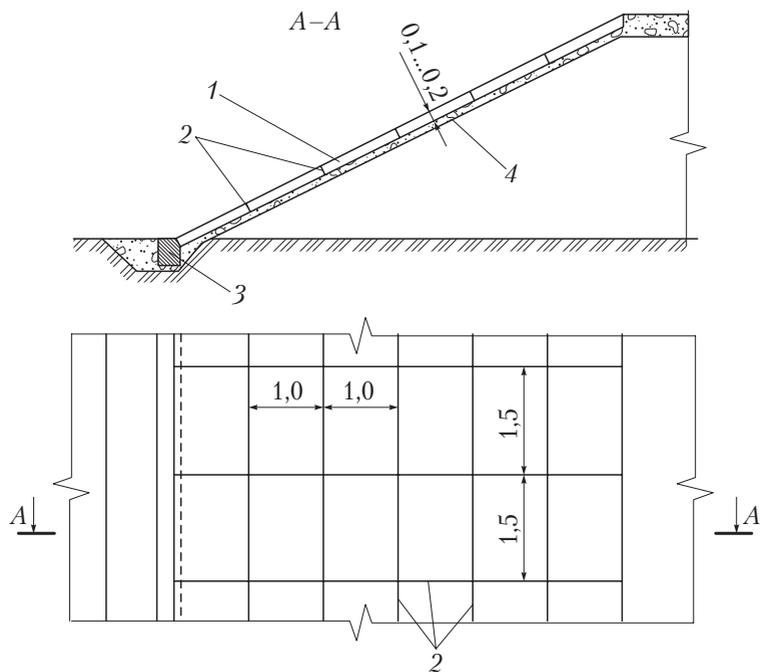


Рис. 10.3. Укрепление откоса сплошным бетонированием:  
1 — цементобетон; 2 — доски опалубки; 3 — бетонный упор; 4 — щебеночная смесь или геотекстиль

бетонной смеси на поверхность откоса используют краны, оборудованные бункерами с затворами. Бетонную смесь уплотняют 2–3 проходами виброрейки.

По такой же технологии, только без установки опалубки, может осуществляться укрепление откоса смесями грунта, обработанного вяжущими материалами (укрепленного грунта). Укрепление откоса грунтом, обработанным цементом, выполняют на двух захватках площадью 400...450 м каждая (рис. 10.4).

На первой захватке выполняются:

- 1) доставка грунта автомобилями-самосвалами из карьера и выгрузка на обочину;
- 2) разравнивание бульдозером кучи грунта;
- 3) размельчение грунта дорожной фрезой за 2 прохода по одному следу.

На второй захватке выполняются:

- 1) распределение цемента распределителем по поверхности грунта;
- 2) сухое перемешивание фрезой за 1 проход;

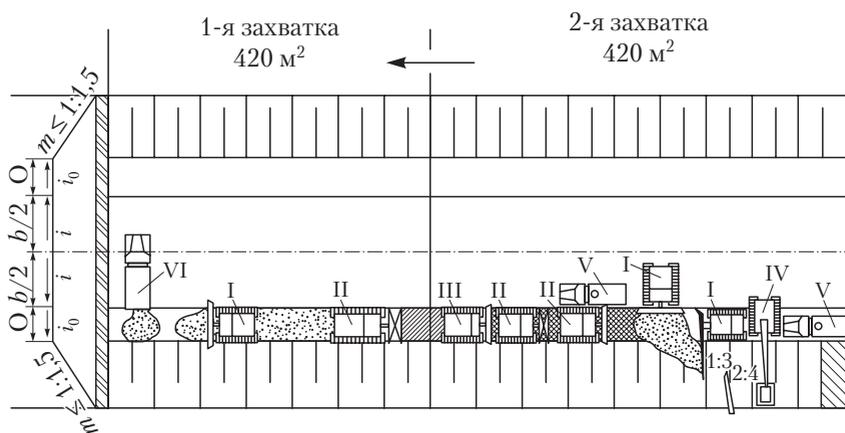


Рис. 10.4. Схема производства работ по укреплению откоса грунтом, обработанным цементом:

I — бульдозер; II — дорожная фреза; III — распределитель цемента; IV — виброток, подвешенный к стреле экскаватора; V — поливочная машина; VI — автомобиль-самосвал;  $b$  — ширина проезжей части;  $O$  — обочина;  $i$  — уклон проезжей части;  $i_0$  — уклон обочины;  $m$  — заложение откоса

3) перемешивание цемента-грунтовой смеси фрезой за 2 прохода с одновременным увлажнением смеси поливомоечной машиной;

4) надвигка цемента-грунтовой смеси бульдозером на откос;

5) разравнивание цемента-грунтовой смеси бульдозером, оборудованным откосником, по поверхности откоса с одновременной планировкой откоса;

6) уплотнение смеси виброкатком, подвешенным к стреле экскаватора;

7) разливка битумной эмульсии поливомоечной машиной.

Укрепление откоса *сборными бетонными плитами* (цементобетонными, асфальтобетонными) различной конфигурации выполняется с соблюдением условия укладки плит от подножия откоса к его вершине и бетонированием соединительных узлов. Сборные железобетонные плиты изготавливают и доставляют к месту укладки централизованно. При транспортировании плиты укладывают плашмя на деревянные прокладки. До начала монтажа плит устанавливают бетонный упор. Плиты укладывают на щебеночное основание, которое устраивают путем распределения слоя щебня на поверхности откоса и его уплотнения. С помощью бульдозеров щебень сталкивают вниз и равномерно распределяют экскаватором. Уплотняют слой щебня катками типа ДУ-14 (Д-480А) или трамбовками. Работы по укреплению откосов сборными плитами ведут на трех захватках длиной 100...120 м (рис. 10.5).

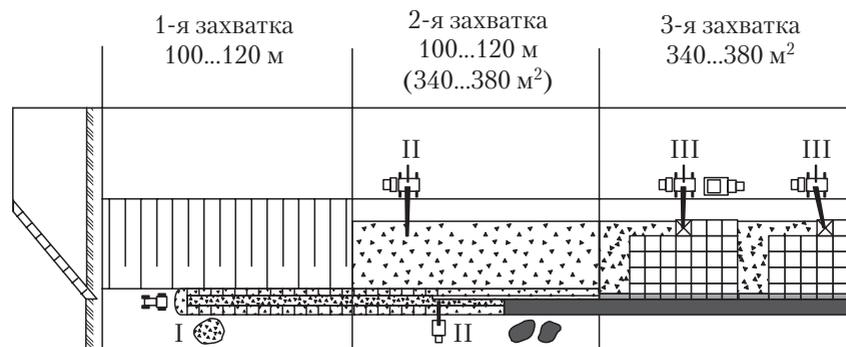


Рис. 10.5. Схема производства работ по укреплению откосов сборными бетонными плитами:

I — экскаватор, II — кран автомобильный; III — подъемный кран

На первой захватке выполняются:

- 1) отрывка траншеи экскаватором у подножия откоса;
- 2) доработка траншеи вручную;
- 3) устройство щебеночной подушки;
- 4) уплотнение щебня в траншее.

На второй захватке выполняются:

- 1) установка в траншее сборного бетонного упора с помощью автокрана;
- 2) устройство каменной упорной призмы;
- 3) устройство щебеночного основания на поверхности откоса.

На третьей захватке выполняются:

- 1) доставка плит автомобилями-самосвалами;
- 2) монтаж плит с колес с помощью подъемного крана последовательными рядами снизу вверх.

Технология монтажа плит следующая:

- 1) краном снимают плиту с автомобиля или берут из штабеля и подводят к месту укладки;
- 2) опускают плиту вниз так, чтобы подошва оказалась на 3...5 см ниже поверхности уже уложенных смежных плит;
- 3) движением стрелы плиту направляют так, чтобы ее поперечная грань соприкасалась с поперечной гранью уложенной плиты;
- 4) движением стрелы на себя уменьшают до минимума зазор в продольном шве между укладываемой и уложенной плитами;
- 5) плиту опускают на щебеночное основание или геотекстильную прослойку.

На сухих неподтопляемых откосах и конусах плиты могут укладываться на прослойку из геотекстильного полотна, устроенную по спланированному и уплотненному песчаному грунту откоса.

Укрепление откоса *сборными решетчатыми конструкциями* в виде бетонных балочек (рис. 10.6) осуществляется по следующей технологии:

- 1) выравнивание и уплотнение поверхности откоса;
- 2) изготовление бетонного упора у подножия насыпи;
- 3) раскладка решетчатых элементов согласно проекту снизу вверх;
- 4) бетонирование узлов соединения решетчатых элементов цементным раствором (состав 1:2);

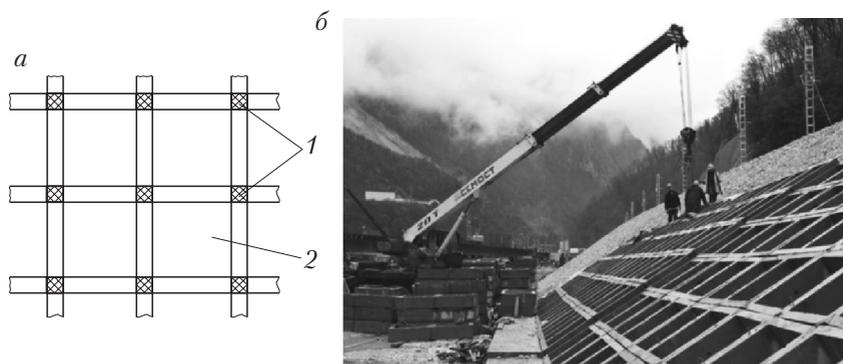


Рис. 10.6. Раскладка решетчатых элементов:  
*a* – схема конструкции укрепления; *б* – общий вид установки решетчатых элементов; 1 – цементный раствор; 2 – наполнитель

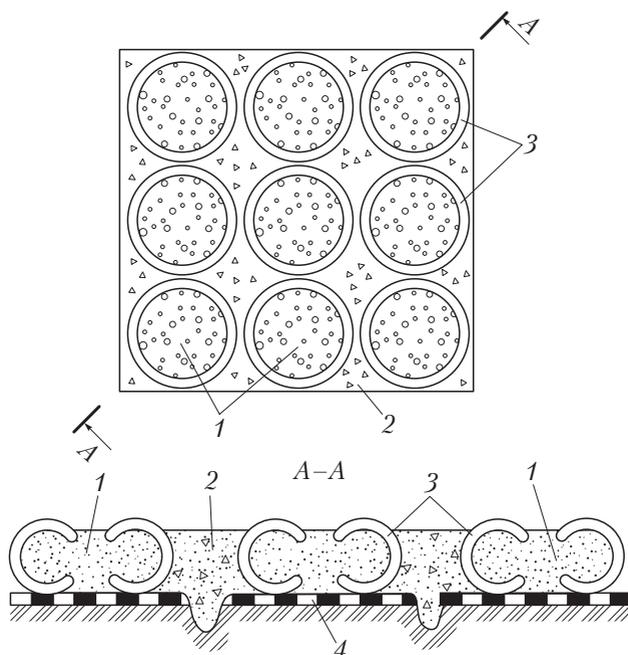


Рис. 10.7. Укрепление откосов с помощью изношенных шин:  
 1 – наполнитель; 2 – бетон; 3 – шины; 4 – геотекстиль

5) засыпка ячеек между балочками щебнем фракции 40...70 мм, смесями (песчано-гравийной (ПГС), щебеночно-гравийными), шлаком, укрепленным грунтом, растительным грунтом с посевом трав и т.д.;

6) послойное уплотнение засыпки (слоями 0,1 м) с помощью ручной трамбовки

Укрепление откосов способом укладки *изношенных автомобильных шин* (рис. 10.7) включает следующие операции:

- 1) укладка нетканого материала на поверхность откоса;
- 2) рядное распределение на откосе изношенных шин;
- 3) заполнение бетоном ячеек между шинами;
- 4) заполнение пространства внутри шин грунтом или смесями.

*Георешетка* — это армирующая строительная конструкция, представляющая собой двухмерную сотовую структуру, изготовленную из полос синтетического материала (пластика, нетканого материала), скрепленных между собой с определенным шагом сварными швами, расположенными в шахматном порядке; предназначена для удержания в своем теле и фиксации на поверхности инертных наполнителей (щебня, гравия, песка, грунта и т.д.) (рис. 10.8). Основной целью применения георешетки является армирование слоев из зернистого материала путем блокировки в своих ячейках минеральных частиц, в результате чего образуется композиционный слой, имеющий повышенную жесткость и устойчивость, что позволяет уменьшить толщину слоев дорожной одежды и повысить прочность дорожной конструкции. Объемная георешетка имеет высоту ячейки 50...300 мм при толщине стенки 1,1...4,5 мм.

Промышленность выпускает несколько видов георешетки (табл. 10.1).

Таблица 10.1

#### Характеристика промышленных георешеток

Тип георешетки	Размер георешетки, м	Площадь георешетки, м <sup>2</sup>	Масса, кг/м <sup>2</sup>	Ширина ячейки Д, мм	Толщина полосы H, мм
TENWEB 4/100	11×2,0×0,1	22	2,25	115	100
TENWEB 4/200	10×3,5×0,1	35	1,42	200	100
TENWEB 4/300	10×5,0×0,1	50	1,00	300	100
ARMATER A 20-25	12×12,5×0,1	150	0,32	400	100
ARMATER A 20-20	12×12,5×0,1	150	0,40	340	100

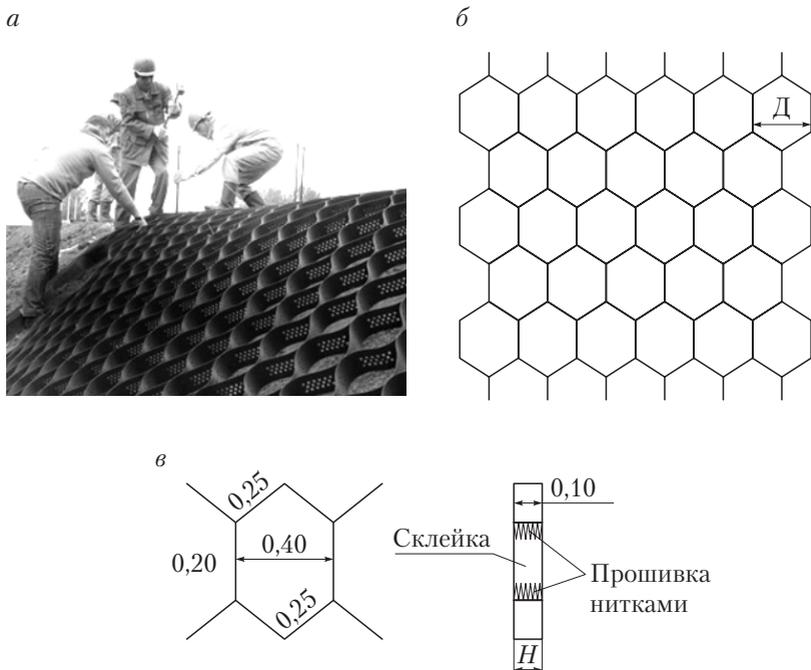


Рис. 10.8. Общий вид и схема ячейки георешетки:

*a* – укладка георешетки на поверхность откоса; *б* – общий вид георешетки; *в* – схема ячейки георешетки; *D* – ширина ячейки; *H* – толщина полосы георешетки

Укрепление откосов георешетками выполняется в следующем порядке:

- 1) на откосе укладывается рулон георешетки и растягивается в продольном направлении до образования ячеек с размером по ширине (*D*, мм), указанным в табл. 10.1. При раскрытии всех ячеек концы георешетки фиксируются по краям к грунту откоса, в результате получается полоса длиной 10...12 м и шириной 2,0...5,0 м;
- 2) ячейки засыпаются грунтом с последующей посадкой семян многолетних трав.

*Габион* – конструкция в виде заполненного камнем ящика из металлической сетки на каркасе, предназначенная для защиты откоса от размыва. Размеры габиона: длина 2...6 м, ширина 0,25...2 м, высота 0,25...2 м.

Укрепление откосов с помощью габионов заключается в том, что у подножия откоса сооружают конструкцию из различных по объему габионов, которые образуют своеобразную подпорную стенку (рис. 10.9). Пространство между габионами и откосом засыпается грунтом. Такая конструкция наиболее эффективна при подтапливании откоса верхними водами.

После 2–3 лет эксплуатации все пустоты между камнями заполняются грунтом и габионное укрепление представляет единый монолит.

Для укрепления откоса может быть применена *подпорная стенка*, представляющая собой геотехническую конструкцию, предназначенную для обеспечения устойчивости вертикальных или крутых склонов.

На рис. 10.10 изображены различные варианты устройства подпорной стенки. Традиционным способом является устройство стенки с применением цементобетона армированного или цементобетонных плит, имеющих анкерное крепление к откосу. В последнее

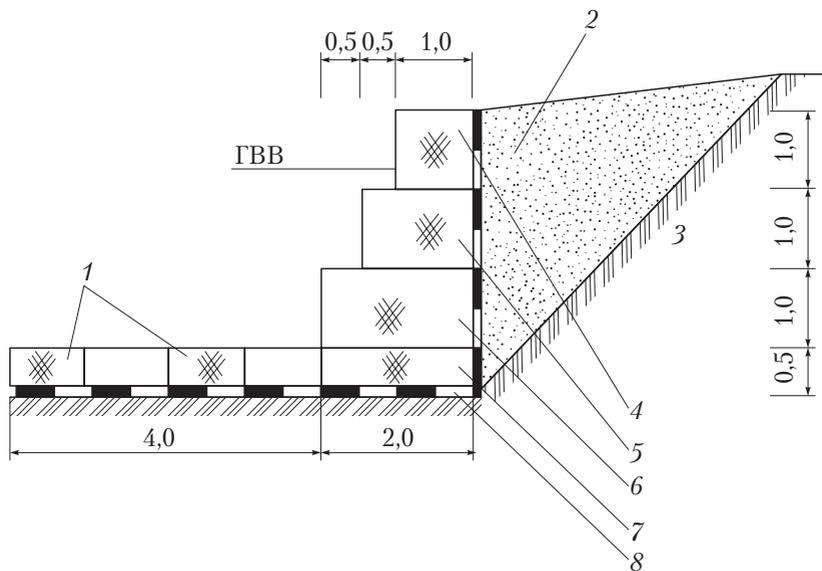


Рис. 10.9. Укрепление откоса с помощью габиона:

1 — матрац Рено (3×2×0,5 м); 2 — обратная засыпка; 3 — песок; габионы: 4 — 2×1×1 м; 5 — 1,5×1×1 м; 6 — 2×2×1 м; 7 — 3×2×0,5 м; 8 — геотекстиль 250 г/м<sup>2</sup>

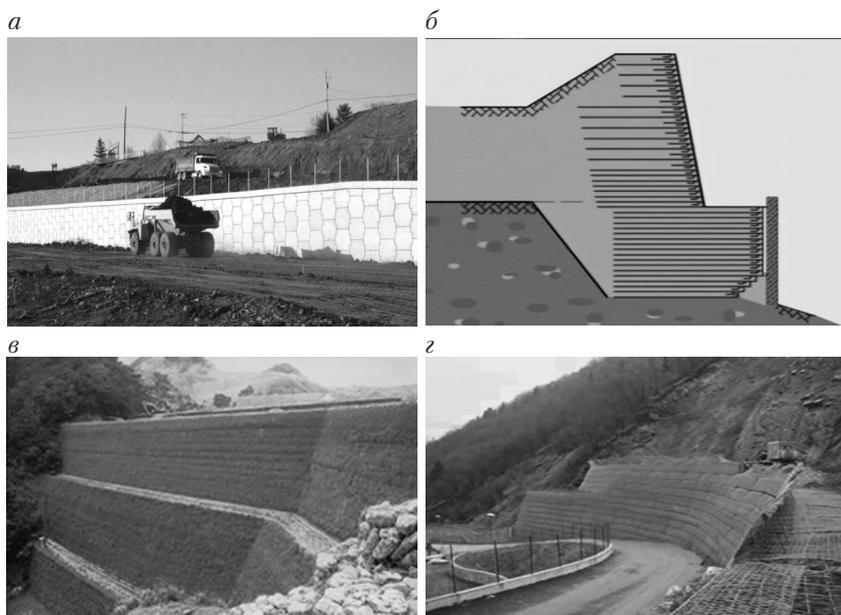


Рис. 10.10 Подпорные стенки:

*a* – бетонная; *б* – конструкция «Husker»; *в, г* – конструкция «Terramesh»

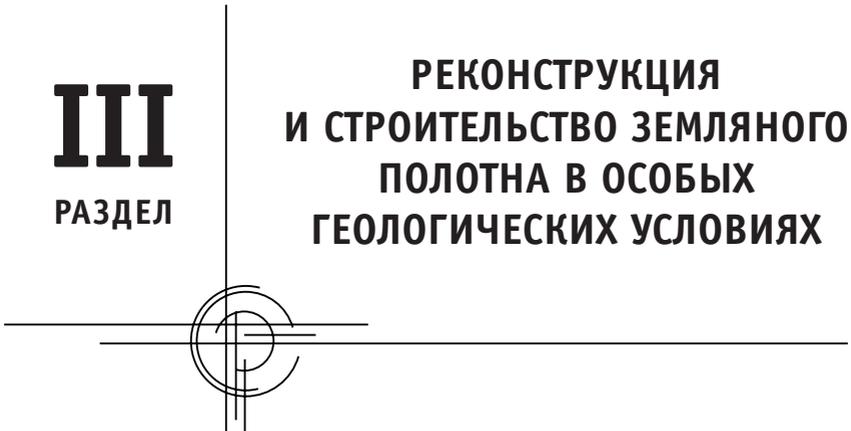
время нашли применение конструкции «Husker» и «Terramesh», представляющие собой армированную сетку, закладываемую на горизонтальном участке, засыпаемую грунтом и заворачиваемую опять на горизонтальный участок, но на большей высоте. Такое армирование имеет слоистый характер. По поверхности грунта высевают семена трав, которые после прорастания образуют ровный вертикальный или слегка наклонный травяной покров. Такие конструкции имеют эстетичный вид и являются экологически безопасными.

Укрепление откосов подпорными стенками распространено в районах, в которых имеется высокий и крутой откос и отсутствует возможность его улоаживания, а строительная площадка или дорога расположена на террасе или серпантине.

# III

## РАЗДЕЛ

# РЕКОНСТРУКЦИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ОСОБЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

- 
- С — Глава 11. Перестройка земляного полотна при реконструкции и ремонте
  - С — Глава 12. Сооружение земляного полотна на болотах
  - С — Глава 13. Особенности выполнения земляных работ на пересеченной местности
  - С — Глава 14. Сооружение земляного полотна в зимний период
  - С — Глава 15. Производство земляных работ в условиях повышенной влажности
  - С — Глава 16. Укрепление грунтов

## ПЕРЕСТРОЙКА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ



### 11.1. Понятие о реконструкции дорог

---

**Реконструкция автомобильной дороги** — совокупность работ, связанных с изменением основных технико-экономических показателей существующей дороги или отдельных ее участков с учетом перспективной интенсивности движения транспортных средств. Реконструкция автомобильной дороги связана с заменой изношенных и устаревших сооружений более прочными и экономичными или с переводом дороги в более высокую категорию.

Реконструкция дороги обуславливается:

- ростом интенсивности движения;
- резким ухудшением эксплуатационных качеств;
- ростом числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП);
- необходимостью выноса дороги за пределы населенных пунктов;
- необходимостью устранения пересечений дорог в одном уровне;
- установлением регулярного автобусного движения;
- появлением в составе транспортного потока автомобилей с большими габаритами и высокими осевыми нагрузками.

Согласно ТКП 068–2011 «Автомобильные дороги. Классификация и состав работ по строительству, реконструкции и капитальному ремонту» реконструкция дороги включает:

- изменение элементов плана и продольного профиля;
- увеличение ширины земляного полотна;

- увеличение числа полос движения и ширины проезжей части;
- изменение грузоподъемности, габаритов искусственных сооружений;
- переустройство дорожной одежды;
- переустройство и устройство инженерного оборудования, коммуникаций;
- устройство дорог в обход населенных пунктов;
- устройство пересечений и транспортных развязок в разных уровнях.

При реконструкции дорог необходимо соблюдать ряд требований к земляному полотну в местах уширения:

- новые грунты укладывают в насыпь слоями;
- фильтрующие грунты укладывают в верхнюю часть земляного полотна и в откосы;
- степень уплотнения отсыпаемых слоев должна быть не менее степени уплотнения существующего земляного полотна;
- крутизну откосов следует принимать согласно требованиям обеспечения безопасности движения.

## 11.2. Подготовительные работы при реконструкции



Реконструкция может проводиться двумя путями:

- 1) старая дорога сохраняется, а новая строится по новому направлению или рядом со старой;
- 2) строительство новой дороги совмещается со старой.

В первом случае возведение земляного полотна осуществляется по нормам и правилам строительства. При частичном совпадении новой трассы с осью старой возможны варианты, при которых новая дорога проходит выше или ниже старой. В зависимости от величины возвышения:

- старая дорожная одежда утолщается;
- используется как основание для новой;
- при значительных повышении необходимо поднятие уровня земляного полотна с проведением земляных работ.

Если новая дорога располагается ниже старой, то устраивается выемка по традиционной технологии.

Большое значение имеет организация движения на участке, на котором производится реконструкция, в соответствии с категорией дороги:

1) старая дорога полностью закрывается, а движение организуется по временным объездным дорогам с ограничением скорости. В этом случае строится объездная дорога с упрощенной конструкцией земляного полотна, конструкция дорожной одежды должна соответствовать интенсивности движения на данном временном участке. После окончания реконструкции временные дороги должны быть полностью разрушены, а земли, отведенные под них, рекультивированы. Если какой-то участок необходимо сохранить для улучшения дорожной инфраструктуры, то его необходимо привести в соответствие с категорией данной дороги;

2) на дорогах высоких категорий может быть закрыта одна сторона, на которой производятся работы по реконструкции. В этом случае на действующей стороне дороги организуется двустороннее движение с ограничением скорости, а для обеспечения безопасного движения производят уширение проезжей части за счет обочин или устраивают дополнительную полосу движения;

3) дорога разбивается на участки: на одних производятся строительные работы, а на других организуется движение. В этом случае на реконструируемых участках строят объездные дороги, а там, где движение организовано по действующей дороге, строительство осуществляют по новому направлению.

Состав подготовительных работ и технология их производства при реконструкции ничем не отличаются от соответствующих работ, выполняемых при строительстве земляного полотна. В состав подготовительных работ при реконструкции входит:

- восстановление и закрепление трассы дороги;
- снятие растительного слоя;
- расчистка территорий, отведенных под карьеры и резервы;
- устройство подъездов к карьерам и резервам грунта и объездных дорог.

Необходимость сохранения плодородного слоя требует его снятия не только с откоса, полосы уширения, но и с примыкающей к насыпи полосы шириной 3...5 м для проезда землеройных и дорожно-транспортных машин. Растительный слой срезают и передвигают в сторону автогрейдером или бульдозером, а с откосов — экскаватором.



### 11.3. Уширение насыпей и выемок

Учитывая, что реконструкция дороги связана с переводом ее в более высокую категорию, что влечет за собой изменение геометрии земляного полотна, дорожной одежды, радиусов вертикальных и горизонтальных кривых, ширины полосы отвода и других параметров, первое, с чего начинают работы, — это уширение земляного полотна, которое может быть односторонним или двухсторонним (рис. 11.1). Если новая трасса совпадает с осью старой дороги, то уширение производится с двух сторон старого земляного полотна. При узких полосах (менее 2,5 м) уширение производят только с одной стороны, и тогда оси новой и старой дороги не совпадают. Если ширина отсыпаемого откоса меньше 2,0 м, то для обеспечения безопасной работы дорожной машины увеличивают ширину уступа или ширину отсыпаемых слоев, которые после возведения насыпи срезают.

Работы начинают с засыпки боковых канав или кюветов. Засыпка производится послойно местным грунтом с тщательным уплотнением (коэффициент уплотнения  $K_y = 1$ ). При этом составляется акт освидетельствования скрытых работ. Технология уширения земляного полотна выполняется с соблюдением требований по качественному сопряжению присыпаемого грунта с грунтом существующего земляного полотна. На насыпи высотой до 2 м и крутизне откоса до 1:5 производят разрыхление грунта на откосе на глубину 0,2...0,25 м. На насыпи высотой более 2 м производят нарезку уступов высотой до 0,5 м. Уклон уступа составляет 50 % и направлен к оси дороги, если насыпь отсыпана из песчаных грунтов, и от оси дороги — если из глинистых.

На рис. 11.2 показано одностороннее уширение земляного полотна и строительство земляного полотна по новому направлению.

При двухстороннем уширении насыпей высотой до 2 м с устройством откосов крутизной 1:3 ширина досыпаемой полки составляет порядка 3 м. Такое расстояние позволяет производить работы бульдозером и самоходным катком. Если ширина полосы уширения составляет 1,5 м и менее, то для обеспечения возможности работы бульдозера, автогрейдера и уплотняющих машин необходимо произвести дополнительное уширение на 1,0...1,5 м.

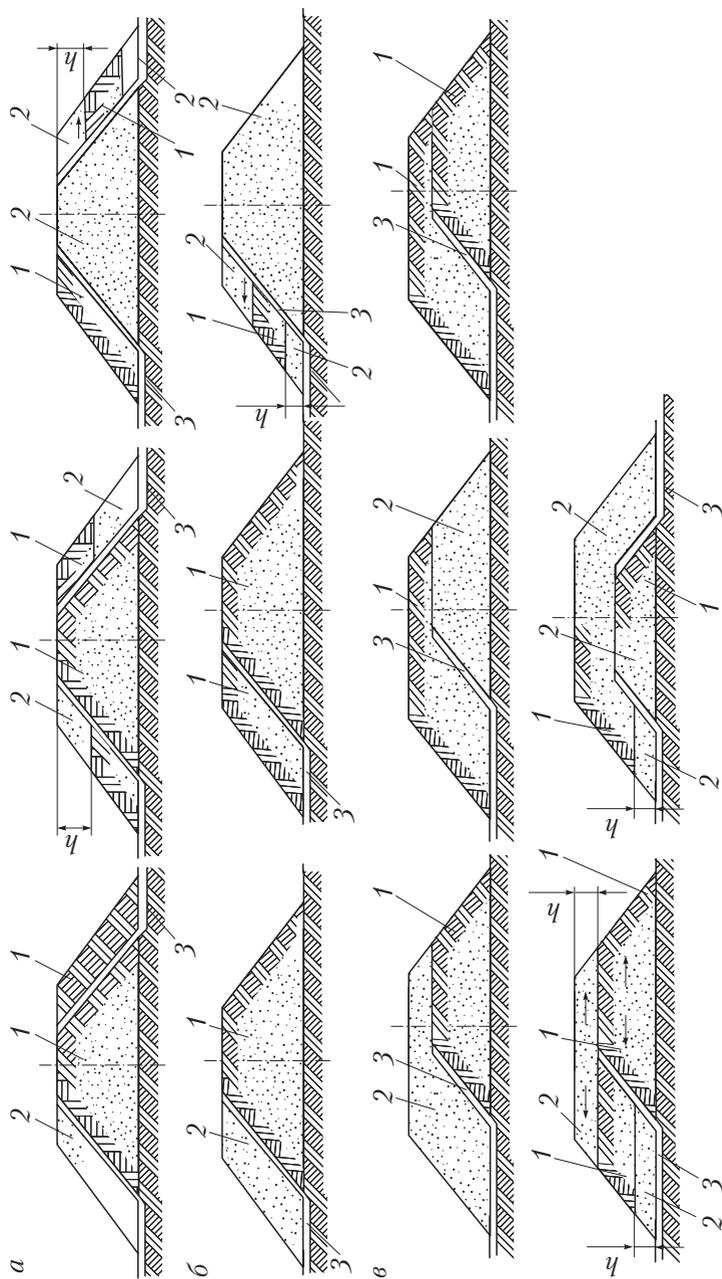


Рис. 11.1. Схемы уширения земляного полотна:

*a* — симметричное двустороннее; *б* — несимметричное одностороннее; *в* — одно- или двустороннее с увеличением высоты насыпи (смягчение продольного профиля); *г* — связный грунт; *д* — песчаный грунт; *е* — снимаемый растительный слой; *h* — минимальная толщина песчаного слоя

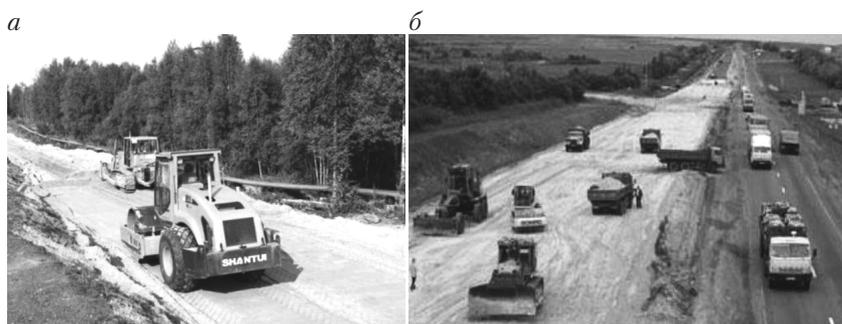


Рис. 11.2. Строительство земляного полотна при реконструкции дороги: *а* – одностороннее уширение земляного полотна; *б* – строительство земляного полотна при реконструкции по новому направлению

Каждый уступ нарезают шириной 0,3...0,5 м и высотой, равной высоте отсыпаемого слоя (0,25...0,35 м). Затем рядом укладывают слой грунта и уплотняют его, после чего нарезают следующий уступ.

Таким образом, технология уширения насыпи следующая:

1) срезка растительного слоя с откосов и полосы уширения, удаление в сторону;

2) погрузка растительного грунта в автосамосвалы;

3) доставка растительного грунта в места возможного применения. Растительный грунт может оставаться в валах до окончания уширения земляного полотна с последующим его перемещением на откосы и посевом трав для укрепления поверхности откоса;

4) рыхление грунта на откосе (при высоте насыпи до 2 м) или устройство уступа на существующем земляном полотне;

5) доставка грунта из карьера автосамосвалами;

6) выгрузка и разравнивание привозного грунта. На насыпях высотой до 2 м можно применять песчаные и супесчаные, но не пылеватые грунты, более 2 м – только песчаные грунты;

7) уплотнение грунта катками;

8) срезка уступа на земляном полотне для второго слоя; далее операции повторяются до достижения полной высоты насыпи.

Уширение выемок также может быть двухстороннее и одностороннее (рис. 11.3).

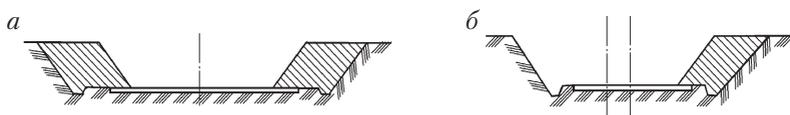


Рис. 11.3. Уширение выемки:  
*a* — двухстороннее; *б* — одностороннее

Выемки глубиной до 2 м уширяют бульдозером или экскаватором, более 2 м — только экскаватором. Технология работ в выемках следующая:

- 1) снятие растительного слоя с откосов;
- 2) засыпка боковых кюветов с послойным уплотнением грунта;
- 3) разработка откосов выемки на заданную ширину с перемещением грунта в насыпь или в отвал;
- 4) планировка откосов с помощью бульдозера или планировщика;
- 5) устройство водоотводных лотков автогрейдером или канавокопателем;
- 6) укрепление откосов.



## 11.4. Исправление продольного профиля

Исправление продольного профиля при реконструкции и ремонте дороги осуществляется путем увеличения высоты насыпи или глубины выемки существующей дороги. Если геометрические параметры реконструируемой дороги соответствуют параметрам существующей дороги, то уширение земляного полотна не производится, а выполняется только увеличение насыпи или углубление выемки. При увеличении насыпи работы производятся только с верхней частью земляного полотна, а также с дорожной одеждой.

Технология исправления продольного профиля при повышении насыпи на 0,4...0,5 м следующая:

- 1) снятие растительного слоя с обочин и верхней части откосов на ширину 0,5...0,6 м;
- 2) послойная разборка и удаление материалов слоя старой дорожной одежды;
- 3) послойная засыпка корыта грунтом и его уплотнение;

- 4) отсыпка песчаного слоя;
- 5) устройство новой дорожной одежды;
- 6) досыпка обочин и их укрепление.

Технология исправления продольного профиля при повышении насыпи более чем на 50 см такая же, как и при уширении земляного полотна. Работы ведутся снизу вверх — от подошвы насыпи до верхней отметки существующего земляного полотна. Работы включают: снятие растительного слоя, нарезку уступов, доставку грунта, его распределение и уплотнение, удаление старой дорожной одежды (при необходимости). При достижении верха существующего земляного полотна работы продолжают до новой проектной отметки с учетом повышения насыпи.

Исправление продольного профиля путем увеличения глубины выемки зависит от величины уширения:

□ при уширении более 2 м разработку откосов выполняют бульдозером с продольным перемещением грунта;

□ при уширении менее 2 м разработку откосов выемки выполняют экскаватором-драглайном, экскаватором обратная лопата, установленным сверху выемки, экскаватором прямая лопата, установленным внизу выемки.

Завершающими этапами работ по углублению выемок являются планировка и укрепление откосов, устройство и укрепление кюветов и водоотводных канав.



## 11.5. Ликвидация пучинистых участков

В процессе эксплуатации старой автомобильной дороги выявляют участки, на которых залегают сильно набухающие грунты, приводящие к пучинообразованию (рис. 11.4). Такие грунты должны быть удалены и заменены на непучинистые с высоким коэффициентом фильтрации.

Технология ликвидации пучинистых участков включает следующие работы:

- 1) определение площади залегания пучинистых грунтов;
- 2) снятие растительного слоя с обочин и откосов;
- 3) послойное снятие материала покрытия и основания, транспортирование их к месту повторного использования;

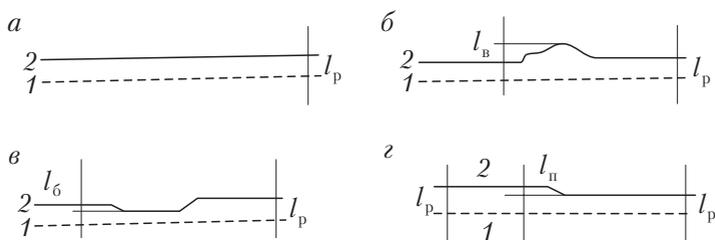


Рис. 11.4. Деформация покрытия автомобильной дороги: *a* — вызванная равномерным пучением; *б* — взбугриванием; *в* — образованием впадины; *г* — возникновением перепада уровня поверхности; *1* — положение дорожной одежды до пучения; *2* — то же после пучения;  $l_p$ ,  $l_б$ ,  $l_b$ ,  $l_п$  — величины соответственно равномерного пучения, взбугривания, впадин, перепада

4) выемка пучинистого грунта экскаватором, погрузка его в автосамосвалы и вывозка в отвал за пределы полосы отвода;

5) доставка песчаного грунта и послойная отсыпка в насыпи с уплотнением вибрационной плитой до рабочей отметки;

6) устройство дорожной одежды такой же конструкции, как и прилегающих участков автомобильной дороги.

Вместо замены пучинистого грунта могут применяться:

укрепление пучинистого грунта путем введения цементного или цемента-известкового раствора;

увеличение высоты насыпи;

устройство дренажа;

устройство капилляропрерывающих прослоек в основании насыпи, дренирующих прослоек, теплоизолирующих прослоек в дорожной одежде или в верхней части насыпи;

усиление конструкции дорожной одежды, в том числе армирование;

введение солей, понижающих температуру замерзания;

гидроизоляция и уборка снега с обочин;

закрепление пучинистого грунта.



## 11.6. Перестройка и удлинение водопропускных труб

При реконструкции автомобильных дорог изменение геометрии поперечного профиля отражается на длине дорожных труб. При этом возможны два варианта:

- 1) полная перестройка водопропускной трубы;
- 2) удлинение водопропускной трубы без перестройки существующей части.

Работы по реконструкции трубы лучше проводить в сухое время года или зимой. Полная перестройка трубы выполняется по тем же правилам, что и новое строительство (гл. 5). Назовем особенности выполнения работ при замене старой трубы на новую:

□ котлован по подошве устраивают шире основания старой трубы: с одной стороны на 3 м (для прохождения машин), с другой стороны на 1 м (для движения рабочих);

□ откос котлована должен быть не круче 1:1;

□ цементный раствор распределяют слоем 10...15 см, а лекальные блоки монтируют автокраном;

□ в двух- и трехчковых трубах пазухи между трубами заполняют цементобетоном, который уплотняют глубинными вибраторами;

□ гидроизоляцию трубы устраивают оклеечной (битумная мастика + рулонный материал) или обмазочной (битумный лак + два слоя битумной мастики).

Удлинение водопропускной трубы производят со стороны выходного оголовка, поэтому в данном месте предусматривают одностороннее уширение земляного полотна и дорожной одежды. В процессе удлинения трубы выполняют следующие основные операции:

- 1) устройство временного отводящего русла;
- 2) удаление грунта с откоса, примыкающего к оголовку;
- 3) разборка оголовка трубы, включая открьлки и порталную стенку;
- 4) устройство котлована в продолжении существующей трубы;
- 5) выполнение монтажа звеньев удлиняемой трубы;
- 6) омоноличивание швов;
- 7) заделка и гидроизоляция швов звеньев;

8) заполнение цементобетоном пазух в двух- или трехочковых трубах;

9) сооружение выходного оголовка.

После монтажа и гидроизоляции колец трубы выполняют засыпку котлована слоями толщиной 0,1...0,2 м, начиная с боковых пазух. Грунт уплотняют механическими трамбовками. При достижении верха трубы грунт насыпают экскаватором и распределяют ровным слоем вручную, после чего уплотняют теми же механическими трамбовками до общей толщины не менее 0,5 м. Дальнейшая отсыпка насыпи и уплотнение грунта производится по традиционной технологии с помощью бульдозера и легкого пневмокатка. Работы завершаются устройством лотка и засыпкой грунтом удлиненной части трубы, которую выполняют одновременно с уширением земляного полотна.

## СООРУЖЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА БОЛОТАХ



### 12.1. Общие положения

---

*Строительство земляного полотна на болоте* — это комплекс земляных работ, выполняемых на заболоченных участках местности с учетом использования слабого грунта или его замены хорошо дренирующими и прочными грунтами. Поэтому перед выбором конструкции земляного полотна необходимо оценить строительный тип болотного грунта и принять решение о его использовании или неиспользовании в дорожном сооружении.

К слабым грунтам относятся грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,075 МПа (при испытании прибором вращательного среза) или модуль осадки более 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа, модуль деформации ниже 5,0 МПа. При отсутствии данных испытаний к слабым грунтам относятся торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с показателем текучести более 0,5.

Торф как органогенная осадочная порода, характеризующаяся степенью разложения и зольностью (см. § 3.3 учебного пособия «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна» Ю.Г. Бабаскина), образует специфический участок земли, характеризующийся накоплением неразложившихся органических веществ, — *болото*. Для торфа характерны высокая влагоемкость (обычно в пределах 150 % и более) и влажность в естественном состоянии.

Строительный тип слабого грунта определяют в зависимости от величины сопротивления сдвигу, устанавливаемой путем испы-

таний с помощью крыльчатки в условиях природного залегания (табл. 12.1).

Основания из слабых грунтов по устойчивости подразделяются на четыре типа: I, II, IIIа и IIIб (см. табл. 1.10, с. 33–34).

Таблица 12.1

### Строительный тип слабого грунта

Влажность слабого грунта	Показатели	
	Сопротивление сдвигу по крыльчатке $\tau$ , МПа	Строительный тип слабого грунта
Осушенный (уплотненный) или маловлажный	Более 0,015	1
Средней влажности	0,015...0,010	2
Очень влажный	0,010...0,005	3а
Избыточно влажный и жидкие образования	Менее 0,005	3б

Слабый грунт типа I характеризуется как осушенный или маловлажный, преобладающей деформацией для него является сжатие. Такой грунт может использоваться в качестве несущего слоя.

Слабый грунт типов II и IIIа характеризуется средней или избыточной влажностью. В таких грунтах наблюдается как сжатие, так и сдвиг, и они допускаются к использованию в качестве несущего слоя только при постепенном их загружении.

Слабый грунт типа IIIб характеризуется как избыточно увлажненный или жидкий и не может применяться в качестве основания. Такие грунты заменяются хорошо дренируемыми (с высоким коэффициентом фильтрации) и прочными грунтами.

Земляное полотно на болоте устраивают с учетом типа болота по устойчивости и капитальности дорожного сооружения (рис. 12.1). Основными видами работ являются:

□ устройство земляного полотна без выторфовывания с временной пригрузкой или с посадкой насыпи на дно болота методом перегрузки;

□ частичное выторфовывание с устройством продольных прорезей, песчаных дрен или без них;

□ полное выторфовывание с погружением насыпи на минеральное дно.

Особенности использования слабых грунтов в основании дорожной конструкции связаны с реологическими процессами, протекаю-

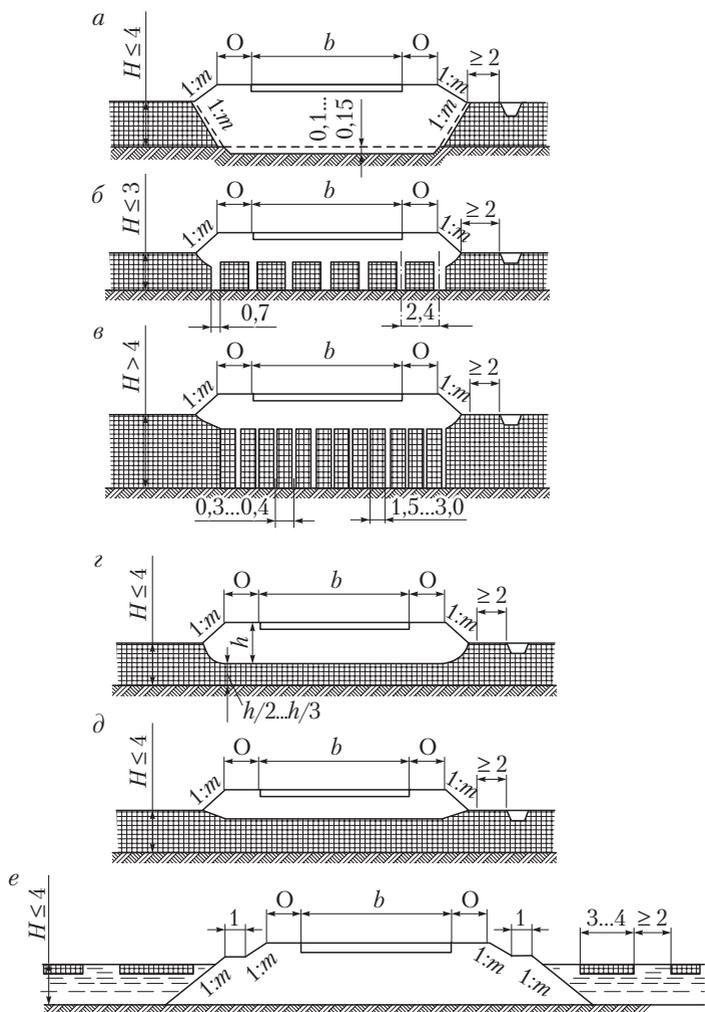


Рис. 12.1. Конструкции поперечного профиля земляного полотна на болоте:

*a* — насыпь на болоте I типа с полным выторфовыванием; *b* — насыпь на болотах I типа с продольными прорезями; *v* — насыпь на болотах I типа с вертикальными дренами; *z* — насыпь на болотах I и II типа с частичным выторфовыванием; *d* — насыпь на болотах I и II типа без выторфовывания; *e* — насыпь на болотах II и III типа с погружением на минеральное дно;  $b$  — проезжая часть; O — обочина;  $H$  — глубина болота;  $m$  — показатель крутизны откоса

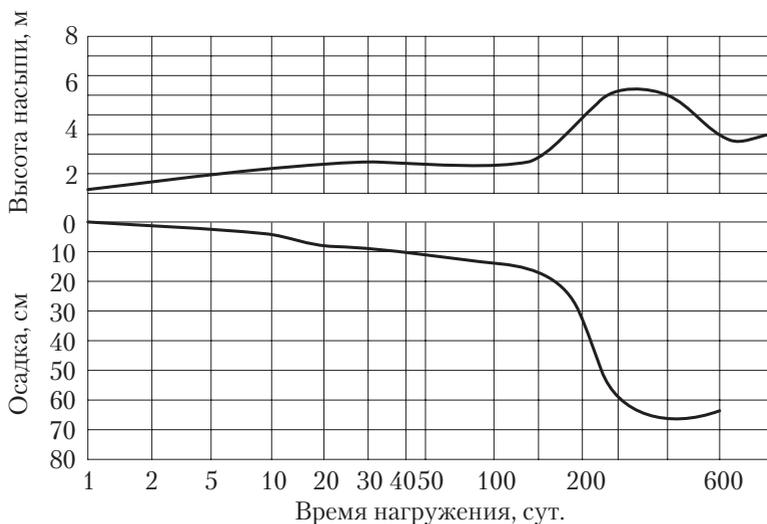


Рис. 12.2. График зависимости величины осадки основания от высоты насыпи

циями в основании. Эти процессы вызывают осадку всей конструкции за счет сжимаемости слабого грунта, что в отдельных случаях может привести к ползучести грунтов и как следствие к разрушению дорожной конструкции.

Для ускорения процесса осадки применяют различные способы, среди которых наиболее эффективным является увеличение статической нагрузки. Рассмотрим график зависимости величины осадки от высоты насыпи, действующей на слабый грунт в течение, например, 20 мес. (рис. 12.2). На болоте I типа со слоем торфа толщиной 1,1 м, подстилаемого минеральным грунтом, отсыпали насыпь из супесчаного грунта высотой 2,0 м, которая простояла 5 мес. Величина осадки составила примерно 0,15 м. Через 5 мес. выполнили дополнительную пригрузку, досыпав насыпь до высоты 5 м, которая простояла еще 14 мес. Общая осадка составила порядка 0,65 м. Таким образом, данная зависимость показывает, что пригрузка насыпи дополнительным грунтом позволила ускорить процесс сжатия слабого грунта и достижения полной осадки основания, что позволило начать строительство дорожной одежды на данном участке.



## 12.2. Сооружение земляного полотна без выторфовывания

При сооружении насыпей с использованием в основании слабых грунтов для повышения устойчивости, ускорения осадки и снижения влияния динамической нагрузки предусматривают следующие конструктивно-технологические мероприятия:

- отсыпку насыпи с заданным режимом;
- армирование грунта;
- частичное выторфовывание;
- временную пригрузку;
- устройство вертикальных песчаных дрен или песчаных свай, дренажных прорезей;
- увеличение толщины насыпи.

При динамической нагрузке осадка ускоряется, поэтому целесообразно организовывать движение автомобилей по поверхности земляного полотна. В целях повышения устойчивости насыпи и снижения неравномерности ее осадки рекомендуется укладывать армирующий слой из текстильного полотна на всю ширину насыпи понижу с выводом краев полотнищ на 1,0...1,5 м за ее границы. Полотнища материала соединяют внахлест с перекрытием не менее 30 см, сшивают или склеивают.

*Геотекстиль* — это нетканый материал, изготовленный из 100 % полипропилена, обеспечивающего стойкость к влаге и химическим соединениям. Он обладает хорошими фильтрационными свойствами, относительным удлинением под действием нагрузки до 60 %, что позволяет использовать его в качестве армирующего элемента (рис. 12.3). Промышленность выпускает геотекстиль в рулонах, которые раскатывают по земляному полотну или основанию в продольном или поперечном направлении (рис. 12.4).

При оставлении болотного грунта в основании насыпи большое значение имеет скорость консолидации слабого грунта под весом отсыпаемой насыпи.

При использовании в основании насыпи слабых грунтов дерновый слой на торфяном болоте не удаляют. При толщине насыпного слоя 1,5 м и более оставляют пни, срезанные на уровне

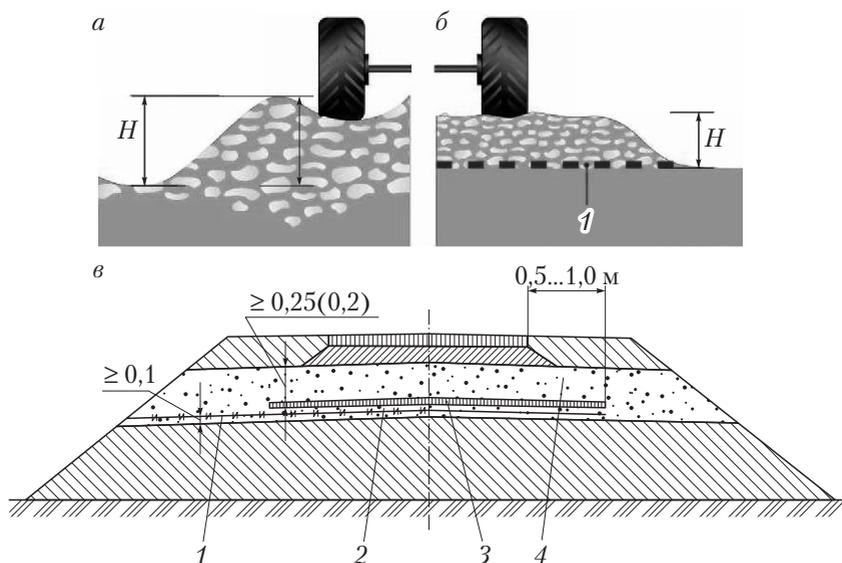


Рис. 12.3. Применение геотекстиля в дорожных конструкциях:  
*a* – слой щебня без геотекстиля (щебень утопает в грунте); *б* – слой щебня с применением геотекстиля (слой щебня стабилен); *в* – конструкция земляного полотна, армированного геотекстилем; 1 – геотекстиль; 2 – дренажирующая геотекстильная прослойка; 3 – армирующая прослойка; 4 – теплоизолирующий слой; *H* – высота слоя щебня

поверхности земли; срезанное мелколесье и порубочные остатки с укладкой стволов поперек оси дороги.

Кроме геотекстиля, основание дорожной одежды, устраиваемой на слабых грунтах, может усиливаться георешетками, выпускаемыми промышленностью в виде плоских лент, которые вначале растягиваются в поперечном направлении, а затем раскатываются по поверхности стабилизируемого слоя и фиксируются между собой пластиковыми или металлическими анкерами, после чего заполняются минеральным материалом (рис. 12.5).

Для получения большего эффекта георешетку применяют совместно с геотекстилем (рис. 12.6).

При сооружении насыпи на болоте с применением слабых грунтов в основании конструкции насыпь послойно отсыпают на полную высоту до проектной отметки с учетом сжатия слабого грунта под весом насыпи (рис. 12.7).

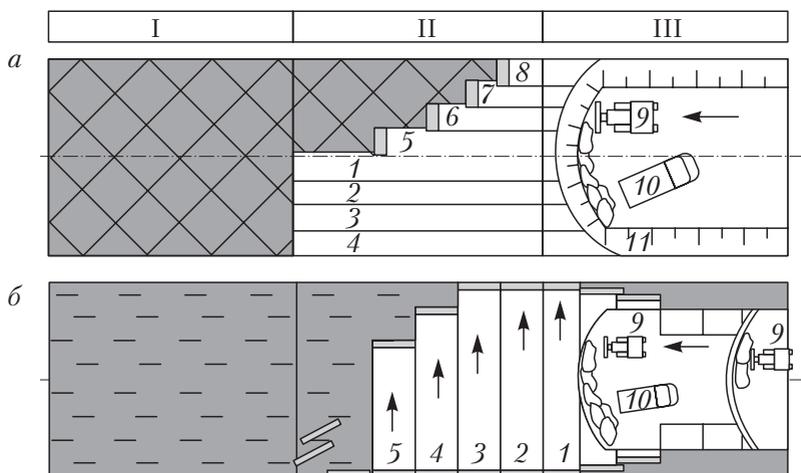


Рис. 12.4. Схемы распределения геотекстиля по поверхности основания: *а* — продольная на заполненную георешетку; *б* — поперечная; 1–8 — порядок распределения геотекстиля; 9 — бульдозер; 10 — автомобиль-самосвал; 11 — сооружаемая насыпь земляного полотна

Величину осадки насыпи определяют из выражения

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{сж}} + S_{\text{от}},$$

где  $S_{\text{общ}}$  — общая осадка насыпи;  $S_{\text{сж}}$  — осадка уплотняющихся слоев слабого грунта;  $S_{\text{от}}$  — осадка отдавливаемых слоев слабого грунта.

Осадку уплотняющих слоев рассчитывают по формуле

$$S_{\text{сж}} = \sum_{i=1}^n \lambda_{i \text{ сж}} (h_i - S_{i \text{ от}}),$$

где  $\lambda_{i \text{ сж}}$  — относительная деформация сжатия расчетного слоя;  $h_i$  — толщина  $i$ -го отдавливаемого слоя;  $S_{i \text{ от}}$  — осадка  $i$ -го отдавливаемого слоя;  $n$  — количество расчетных слоев болотной залежи.

Осадку отдавливаемых слоев находят по формуле

$$S_{\text{от}} = \sum_{i=1}^n \lambda_{i \text{ от}} \cdot h_i = \sum_1^n S_{i \text{ от}},$$

где  $\lambda_{i \text{ от}}$  — относительная деформация  $i$ -го отдавливаемого слоя.

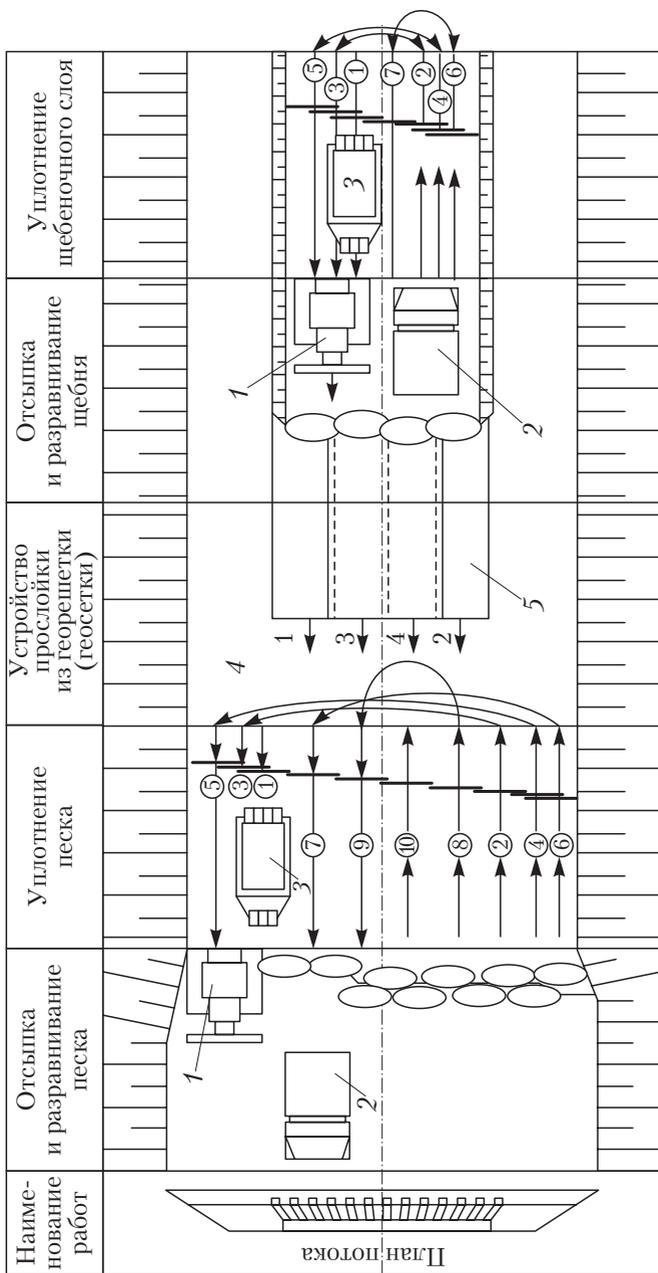


Рис. 12.5. Технологическая схема устройства прослойки из георешетки:

1 — бульдозер; 2 — автомобиль-самосвал; 3 — каток; 4 — готовое основание из уплотненного песка; 5 — полотна георешетки (геотекстиля); ①-⑩ — порядок прохода катка и распределения георешетки; 1-4 — порядок расстилки полотна

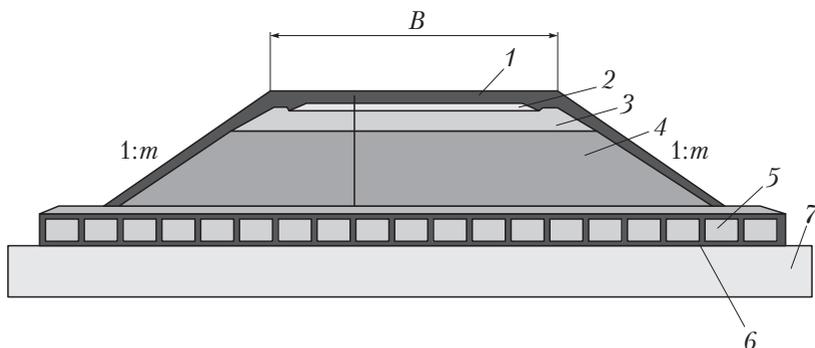


Рис. 12.6. Пример совместного применения георешетки и геотекстиля при устройстве насыпи на слабом грунте: 1 — покрытие; 2 — несущий слой основания дорожной одежды; 3 — дополнительный подстилающий слой основания из песка; 4 — грунт тела насыпи; 5 — георешетка высотой  $h = 20$  см, заполненная песком  $h = 30$  см (количество слоев определяется расчетом); 6 — нетканый геотекстиль или высокопрочный геосинтетик; 7 — слабый грунт

Для ускорения осадки насыпи применяют методы:

- автокомпенсации;
- временной пригрузки;
- предварительной консолидации;
- перегрузки;
- выдавливания слабого грунта через канавы-торфоприемники.

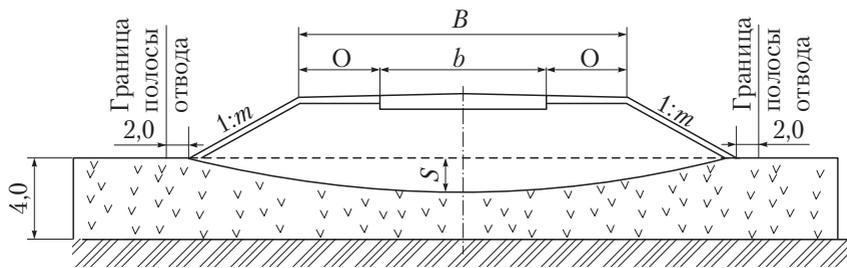


Рис. 12.7. Насыпь на болотах I–II типа без выторфовывания:  $B$  — ширина дорожного полотна;  $b$  — ширина проезжей части;  $O$  — обочина;  $S$  — осадка

Сооружение земляного полотна *методом автокомпенсации* заключается в том, что насыпь отсыпают послойно на высоту  $h_0$ , превышающую проектную высоту  $h$  на величину запаса на осадку  $\Delta x$ :

$$\Delta x = \Delta h + S_{\text{сж.расч}} [1 - U_0(1 + bd)],$$

где  $\Delta h$  — толщина слоя пригрузки, м;  $S_{\text{сж.расч}}$  — осадка за счет сжатия торфа от насыпи проектной толщины, м;  $U_0$  — степень консолидации (определяется по табл. 12.2);  $b, d$  — коэффициенты, определяемые по методике, изложенной в ТКП 200–2009.

Таблица 12.2

**Значения степени консолидации ( $U_0$ ) в зависимости от относительной осадки сжатия основания ( $\lambda_{\text{сж}}$ )**

$\lambda_{\text{сж}}$	Менее 0,05	0,05...0,15	0,15...0,30	0,30...0,40	Свыше 0,40
$U_0$	0,25	0,33	0,5	0,6	0,65

Строительную высоту насыпи (рис. 12.8) определяют по формуле

$$h_0 = h + \Delta x,$$

где  $h$  — проектное положение насыпи.

Для ускорения осадки насыпей применяется *временная пригрузка насыпи* дополнительным слоем грунта (рис. 12.9). Толщина слоя временной пригрузки 2...3 м, время ее выдерживания — от 1 месяца до 1 года. После достижения расчетной осадки пригрузочный слой снимают и используют для насыпей, не требующих длитель-

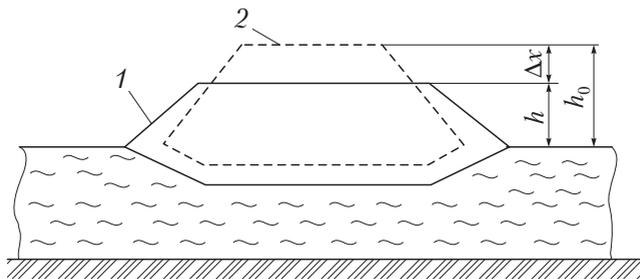


Рис. 12.8. Схема определения строительной высоты насыпи:  
1 — проектное положение насыпи; 2 — отсыпка насыпи с учетом запаса на осадку

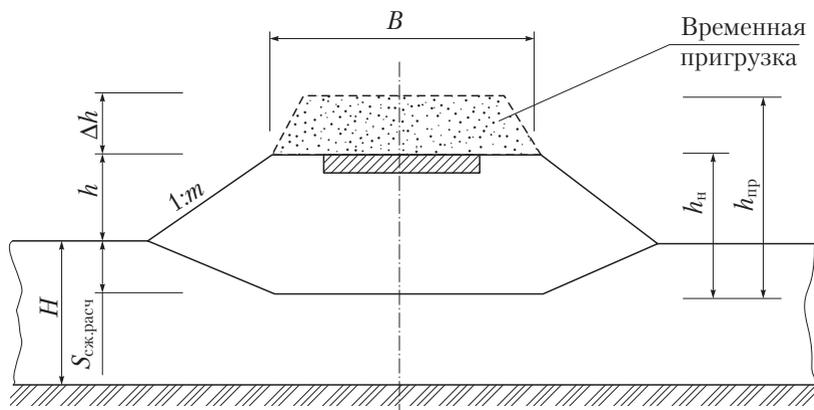


Рис. 12.9. Сооружение насыпи способом временной пригрузки:  $H$  — толщина слабого грунта;  $h$  — высота насыпи над слабым грунтом;  $\Delta h$  — высота слоя временной пригрузки;  $h_{н}$  — толщина грунта земляного полотна;  $h_{пр}$  — толщина земляной конструкции с временной пригрузкой

ного выдерживания, на других участках. Грунт пригрузочного слоя целесообразно перемещать скреперами.

Сооружение насыпи *способом постепенного загрузжения (предварительной консолидации)* применяется на болотах I и II типа в том случае, когда основание не может без нарушения устойчивости воспринять нагрузку от всей насыпи. Отсыпку насыпи ведут в режиме, при котором каждая последующая нагрузка прикладывается после соответствующего упрочнения грунта под предыдущей нагрузкой.

Посадка насыпи на минеральное дно болота под действием веса насыпи достигается в случае, если нагрузка превышает несущую способность слабого слоя. Для облегчения посадки насыпи применяются методы увеличения нагрузки (перегрузка), устройство траншей-торфоприемников, разрыхление отжимаемого пласта механическим, гидравлическим или взрывным способом.

*Метод увеличения нагрузки (перегрузка)* применяется на болотах II типа (рис. 12.10). На отсыпанное земляное полотно бульдозером надвигают дополнительные слои грунта в виде узкой полосы, которая будет играть роль клина, раздвигающего слои слабого грунта в стороны. После посадки насыпи на дно лишний грунт снимают и используют для расширения или продолжения насыпи.

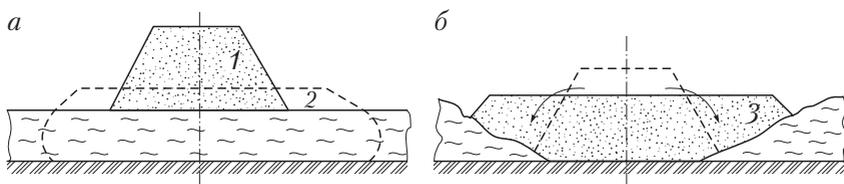


Рис. 12.10. Схема посадки насыпи на дно болота методом перегрузки: 1 — временное сечение отсыпаемой насыпи; 2 — проектное сечение земляного полотна; 3 — реальное сечение земляного полотна после завершения работы

*Траншея-торфоприемник (канаво-торфоприемник)* представляет собой канаву, устроенную в верхнем более прочном слое торфа вдоль насыпи с двух или одной стороны на расстоянии 2...2,5 м, в которую под действием веса насыпи отжимается более слабый грунт нижнего слоя болота (торф II типа или сапропель) (рис. 12.11). Торфоприемники устраивают на болоте II типа шириной не менее

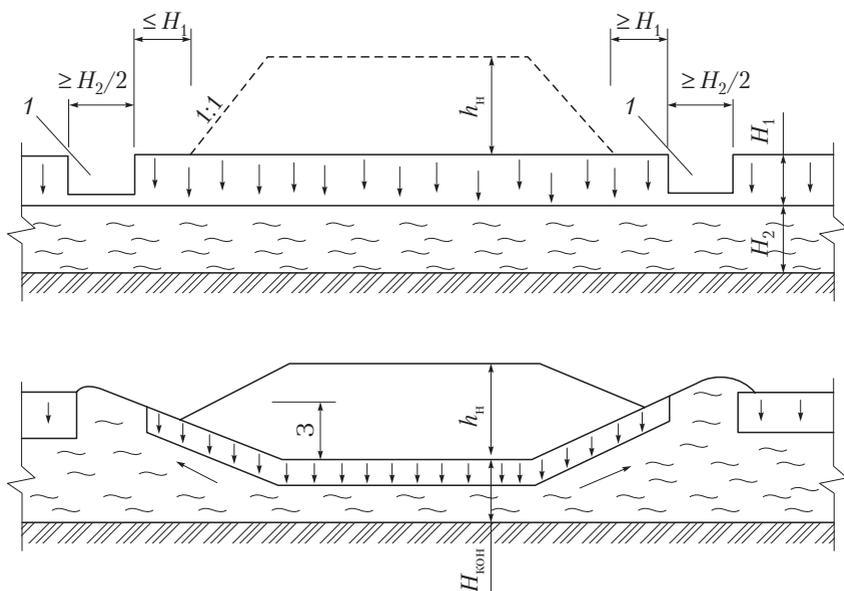


Рис. 12.11. Конструкция земляного полотна на болоте с торфоприемником:  $H_1$  — толщина верхнего прочного торфа;  $H_2$  — слабый грунт нижнего слоя болота;  $h_n$  — высота насыпи;  $H_{кон}$  — толщина слоя слабого грунта после консолидации; 3 — глубина осадки насыпи после консолидации

половины мощности выдавливаемого слоя с помощью экскаватора. Под действием веса насыпи слабый грунт отжимается в стороны и, разрушая тонкую оболочку верхнего прочного торфа, заполняет торфоприемники и даже может выдавливаться на поверхность.

### 12.3. Сооружение земляного полотна с частичным выторфовыванием



Частичное выторфовывание заключается в том, что удаляется только часть торфа, которая заменяется дренажными прорезями (на болоте I типа глубиной до 3 м) или вертикальными дренами (на болоте того же типа, но при глубине торфа более 3 м).

Замена слабого грунта в основании насыпи выполняется на болотах I типа путем механического, взрывного или гидравлического выторфовывания, а на болотах II и III типа — путем отжатия болотных грунтов весом насыпи.

**Продольная прорезь** — это канава, разработанная в пределах основания вдоль насыпи экскаватором на глубину до минерального дна с определенным шагом между соседними прорезями.

Сооружение насыпи с устройством продольных прорезей заключается в последовательном выполнении работ по устройству продольных прорезей в болотном грунте на полосе, равной ширине насыпи понизу, и отсыпке сверху насыпи земляного полотна (рис. 12.12). Вначале на болоте производят разбивку полосы, соответствующей ширине насыпи понизу, и обозначают оси продольных прорезей. Далее экскаватором вынимают болотный грунт и складывают его вдоль внешней границы основания насыпи. В канаву засыпают песок доверху, а затем отсыпают насыпь. В этом случае прорези играют роль своеобразных свай, на которые опирается насыпь и через которые нагрузка передается от насыпи минеральному дну болота. Для лучшей связи нижних слоев насыпи перед началом отсыпки на всю ширину насыпи понизу расстилают нетканый синтетический материал.

**Вертикальная дрена** — вертикальная выработка круглого сечения в болотном грунте, полученная путем прокалывания слабого грунта металлической трубой с наконечником или гидробурением, и заполненная песчаным грунтом или дренажной лентой.

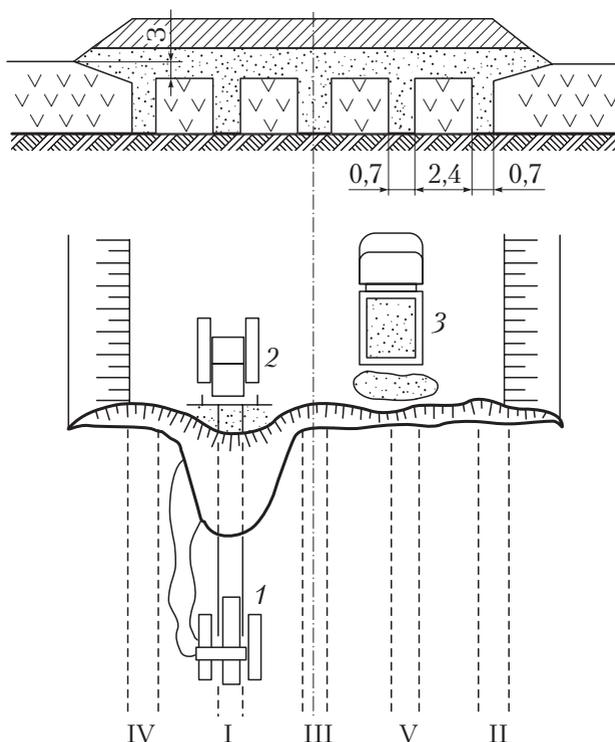


Рис. 12.12. Сооружение земляного полотна на болоте с устройством продольных прорезей:

1 — устройство прорези экскаватором способом «на себя»; 2 — заполнение прорези грунтом с помощью бульдозера; 3 — доставка грунта; I–V — последовательность устройства прорезей

Сооружение на болоте насыпи с вертикальными дренами заключается в устройстве вертикальных дрен в болотном грунте на полосе, равной ширине насыпи понизу, в шахматном или рядном порядке (рис. 12.13).

Вертикальные дренаи сооружают 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 в болотной массе столб из песка;

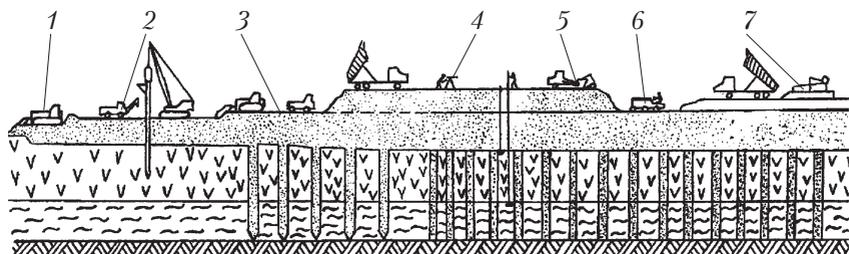


Рис. 12.13. Схема устройства земляного полотна с вертикальными дренами:

1 — надвигка 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

- гидробурением скважины с последующей засыпкой ее песком;
- погружением дренажных лент из картона или древесных отходов.

Наиболее широко применяют способ погружения обсадной трубы. При погружении конец трубы закрывают бетонной пробкой, которая 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.

Выторфовывание, устройство траншей, прорезей, водоотводных канав, рыхление дернового покрова целесообразно выполнять в зимнее время после образования мерзлой коры, обеспечивающей проходимость машин.

## 12.4. Сооружение земляного полотна с полным выторфовыванием



Полное выторфовывание означает замену болотного грунта привозным грунтом, отвечающим строительным требованиям для сооружения земляного полотна. При строительстве дорог с капитальными типами покрытий применяют конструкции, при которых исключается осадка земляного полотна после устройства дорожной

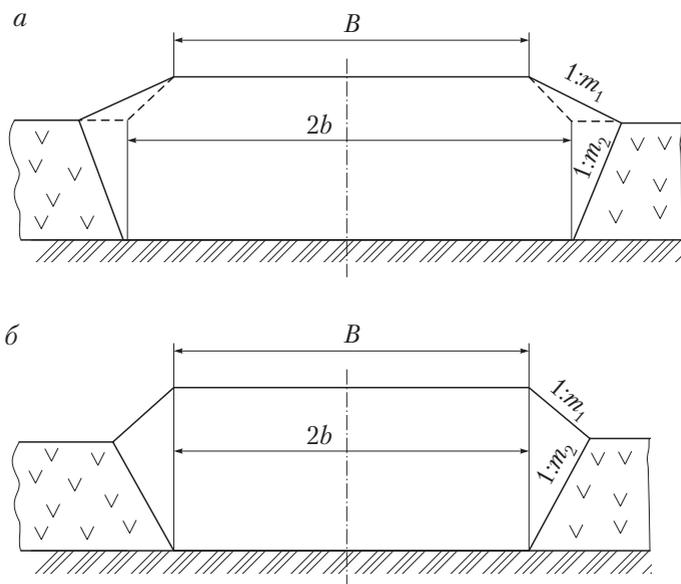


Рис. 12.14. Схемы земляного полотна с удалением слабых грунтов в основании:

*a* — для капитальных и облегченных дорожных одежд; *б* — для переходных дорожных одежд;  $B$  — ширина земляного полотна;  $2b$  — ширина земляного полотна понижу;  $m_1$  — заложение откоса насыпи над болотом;  $m_2$  — заложение откоса насыпи в болотной залеже

одежды. На болотах I типа небольшой глубины устраивают насыпи, опирающиеся на минеральное дно (рис. 12.14) или с продольными прорезями, на глубоких болотах с вертикальными дренами.

Выторфовывание на болотах I типа выполняется одноковшовым экскаватором-драглайном (рис. 12.15). На пнистых болотах применяют экскаватор обратной лопата. Крупные пни извлекают грейфером. Удаленный торф укладывают в кавальеры или грузят в автомобили-самосвалы для вывозки в отведенный отвал. В зависимости от ширины и глубины выторфовывания болотный грунт удаляют по одной из следующих схем: «на себя», одной или двумя продольными захватками, «от себя», при работе экскаватора с насыпи.

При организации работ по схеме «на себя» экскаватор, двигаясь вдоль оси траншеи по щитам, разрабатывает ее на полный про-

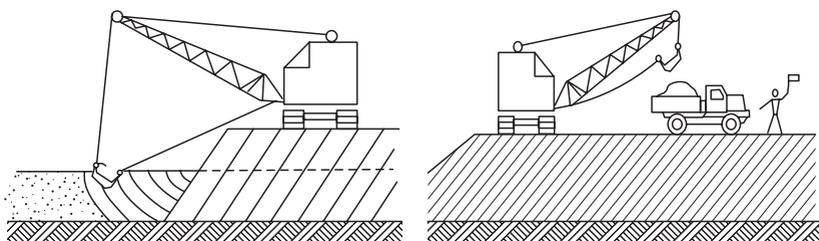


Рис. 12.15. Разработка торфа способом «от себя» и погрузка его в транспортные средства при работе экскаватора с насыпи

филь и укладывает грунт в два отвала по обе стороны траншеи (рис. 12.16). К образовавшейся траншее подвозят грунт и бульдозером сдвигают его в траншею, засыпая, таким образом, яму. Грунт под действием массы бульдозера и автомобилей-самосвалов уплотняется. Засыпка траншеи осуществляется до ее верха, после чего грунт уплотняется катками и дальше сооружение насыпи производится при послойной отсыпке грунта.

На болотах с низкой несущей способностью, а также при устройстве широких и глубоких траншей с большим объемом выторфования сооружение земляного полотна ведется по схеме «от себя» (рис. 12.17).

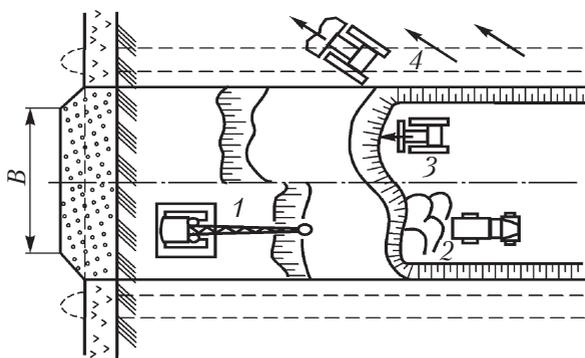


Рис. 12.16. Сооружение насыпи способом «на себя»:

1 — экскаватор; 2 — подвозка грунта автомобилями-самосвалами; 3 — сдвиг грунта в траншею бульдозером с разравниванием поверхности; 4 — разравнивание торфа, вынутаго из траншеи, бульдозером на уширенных гусеницах

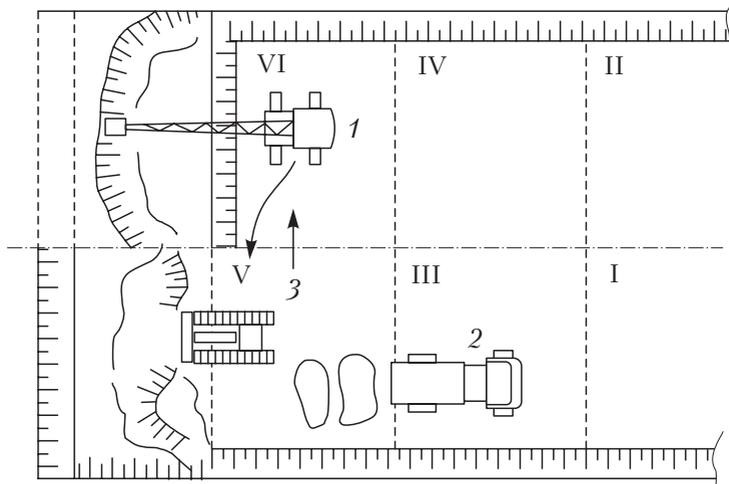


Рис. 12.17. Сооружение насыпи способом «от себя» поперечными проходами:

1 — разработка торфа экскаватором; 2 — подвоз грунта автомобилями-самосвалами; 3 — засыпка траншеи бульдозером; I–VI — порядок разработки захваток

Траншеи глубиной до 1 м на осушенных болотах I типа с подстилающим слоем из плотных грунтов при ширине основания насыпи 12 м и более целесообразно разрабатывать бульдозером. Технологический процесс включает разработку траншеи, перемещение торфа в кавальер и разравнивание его слоем толщиной до 0,5 м. Выторфовывание ведется поперечными проходками экскаватора от одной бровки до другой.

Таким образом, сооружение земляного полотна с полным выторфовыванием осуществляется на болотах любого типа при соответствующем технико-экономическом обосновании. На болотах типа IIIб выторфовывание производится в обязательном порядке с применением конструкции земляного полотна «с посадкой на минеральное дно».

## ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ НА ПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ

### 13.1. Земляные работ на косогорных участках



Автомобильные дороги располагаются не только на горизонтальных участках или участках, имеющих уклон, совпадающий с осью (спуски и подъемы), но и на участках, где ось дороги образует угол с общим уклоном местности (до  $90^\circ$ ). Такие участки называются **косогорными**, причем при уклоне местности менее  $20^\circ$  они относятся к *пологому косогору*, а при уклоне более  $20^\circ$  — к *крутому*.

Особенность расположения дороги на косогорных участках заключается в том, что насыпь дороги может скользить по уклону, создавать препятствие для прохождения воды по склону местности, оказаться на пути движения осыпей, обвалов, оползней, лавин, селей и других природных явлений.

До начала земляных работ на косогоре выше верхней кромки разрабатываемой выемки должны быть устроены нагорные водоотводные каналы, предотвращающие возможность стока воды по косогору в разрабатываемую выемку (рис. 13.1).

При разработке грунта на косогоре направление перемещения грунта может осуществляться как продольными проходами машины с установленным отвалом под углом в сторону низовой части косогора, так и поперечными. Выбор землеройной машины будет зависеть от объемов работ и крутизны откоса. При небольших объемах земляных работ и пологом косогоре формирование насыпи может осуществляться автогрейдером (рис. 13.2).

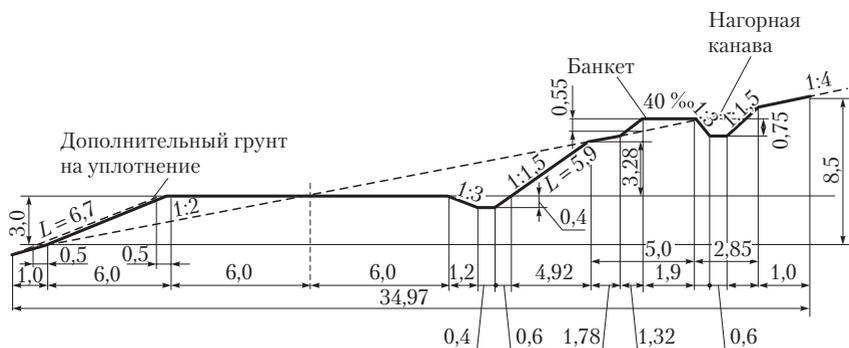


Рис. 13.1. Поперечный профиль земляного полотна типа полувыемка-полунасыпь, устраиваемый на косогоре с нагорной канавой

На пологих косогорах (крутизной менее  $20^\circ$ ) вместо нарезки уступов допускается производить рыхление многокорпусным плугом. Выемки на пологих косогорах разрабатывают бульдозерами с поворотным отвалом проходами под углом  $45^\circ$  к оси дороги. При этом грунт перемещают в насыпь, начиная с ее нижней части, и обеспечивают его послойное разравнивание и уплотнение.

На крутых косогорах (крутизной более  $20^\circ$ ) разработку выемки и отсыпку грунта в насыпь выполняют бульдозерами с универсальными отвалами проходами параллельно или под углом менее  $45^\circ$  к оси. На отдельных участках (при сильно пересеченной местности) конструкция земляного полотна может представлять собой полувыемку-полунасыпь при этом насыпь отсыпается из грунта, разрабатываемого в выемке (рис. 13.3). В этом случае грунт из верхней части выемки перемещают в насыпь.

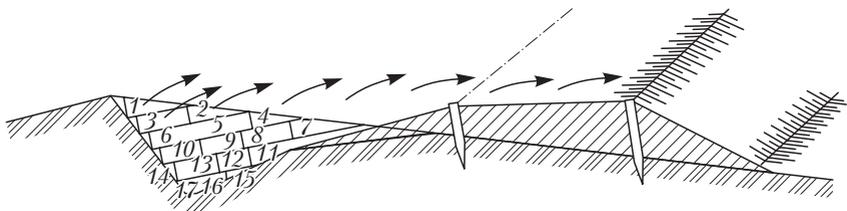


Рис. 13.2. Схема перемещения грунта грейдером на косогоре (числами обозначена последовательность перемещения объемов грунта)

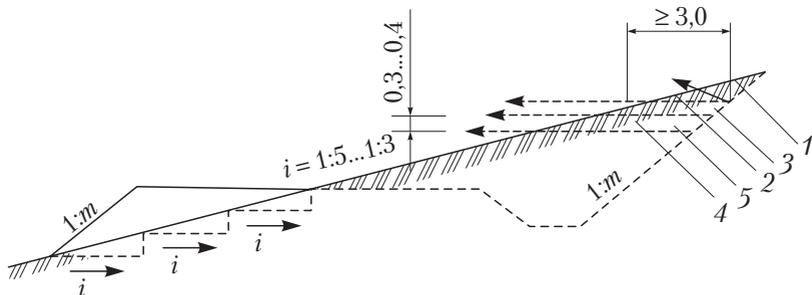


Рис. 13.3. Разработка грунта на косогоре (1–5 – последовательность снятия слоев грунта)

Для обеспечения устойчивости насыпи, отсыпаемой на косогоре, на площади подошвы насыпи до ее отсыпки должны быть нарезаны уступы шириной 2...3 м бульдозером, движущимся продольными ходами параллельно оси дороги, начиная с нижнего уступа (рис. 13.4). После нарезки нижнего уступа бульдозер нарезает следующий, вышерасположенный уступ. Грунт из него перемещают на готовый нижний уступ, распределяют равномерным слоем и уплотняют. Уступам придают уклон порядка 20...40 %, который направлен к оси дороги (насыпь из песчаных грунтов) или от нее (насыпь из связных грунтов).

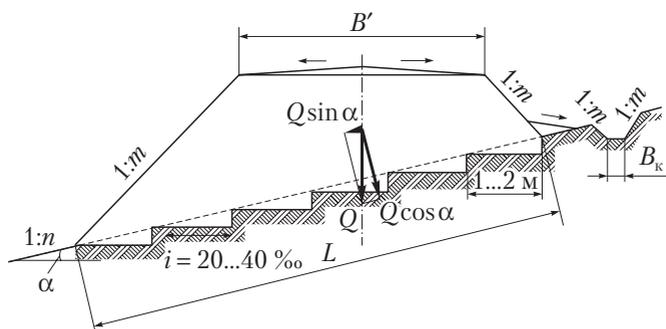


Рис. 13.4. Устройство уступов в основании насыпи на косогоре:  $B'$  – ширина земельного полотна;  $L$  – длина насыпи понизу;  $m$  – коэффициент заложения откоса;  $n$  – заложение косогора;  $i$  – уклон уступа;  $B_k$  – ширина нагорной канавы понизу;  $Q$  – вес грунта насыпи;  $Q \sin \alpha$  – сдвигающая сила;  $Q \cos \alpha$  – удерживающая сила



## 13.2. Производство работ с применением гидромеханизации

**Гидромеханизация** — механизированный способ производства земляных, горных и других работ, при котором все операции по сооружению земляного полотна (разработка грунта, его перемещение и укладка) выполняются за счет энергии движущегося потока воды. Основное оборудование гидромеханизации: насосы, загрузочные аппараты, землесосные станции, трубопроводы, насосные станции, землесосные снаряды, гидроэлеваторы, эрлифты, гидромониторы.

**Насос грунтовой (землесос)** — центробежный насос с односторонним всасыванием для транспортирования гидросмеси по трубопроводам.

**Гидросмесь (пульпа)** — смесь разрушенного грунта или породы (суспензии) с водой, образующаяся при гидромеханическом способе производства земляных работ.

**Землесосный снаряд (рефулер)** — плавучая землесосная установка на плаву или заанкеренная, с одним или несколькими насосами центробежного типа, предназначенная для разрыхления, подъема и перемещения гидросмеси. Применяется при дноуглубительных работах, на добыче песка и других земляных работах.

**Гидроэлеватор** — самовсасывающее гидротранспортное оборудование, представляющее собой водоструйный изотермический насос для засасывания различных гидросмесей. Через насадку рабочая жидкость поступает в приемную камеру в виде струи с большой скоростью, что обеспечивает перемещение гидросмеси.

**Гидромонитор** — рабочее водобойное оборудование для размыва грунта и превращения его в гидросмесь, транспортируемую в земляное сооружение или в отвал. Его действие основано на преобразовании потенциальной энергии напора подводимой воды в кинетическую энергию струи размыва.

**Эрлифт** — вид внутрипостроечного и складского транспорта для подъема пылевидных материалов на высоту 5 м и более. Перемещение осуществляется за счет энергии сжатого воздуха, подаваемого компрессором.

**Гидротранспортирование** — процесс перемещения гидросмеси. Осуществляется по трубам с использованием насоса (напорное транспортирование) в тело сооружения.

Применение гидромеханизации эффективно при достаточно крупных концентрированных объемах земляных работ (не менее  $50\,000\text{ м}^3$  на километр насыпи), возможности использования промышленной электроэнергии для питания землесосных и гидромониторных установок и в удобно расположенных карьерах песчаных и супесчаных грунтов.

Интенсивность намыва грунта в насыпь должна обеспечить отдачу воды из грунта и зависит от вида намываемого грунта (табл. 13.1).

Таблица 13.1

Интенсивность намыва грунта в насыпь

Вид грунта	Среднее значение диаметра зерен песка (по СТБ 943–2007) $d_{50}$ , мм	Интенсивность намыва грунта в насыпь, м/сут.
Пылеватые и мелкие пески	0,05...0,20	0,2...0,6
Пески средней крупности	0,15...0,40	0,6...0,8
Крупные пески	0,30...1,00	0,8...1,5

**Гидронамыв** представляет собой способ разработки грунта на дне водоема (затопленного карьера) с помощью землесосных насосов, установленных на землесосном снаряде, и перемещения гидросмеси по пульпопроводу в район намыва. При возведении земляного полотна вначале традиционными способами из грунта сооружают боковые призмы, представляющие упоры для прудка-отстойника и не допускающие расплыва пульпы (рис. 13.5). К плавающему пульпопроводу подключают магистральные и распределительные пульпопроводы, по которым транспортируют гидросмесь. Скорость

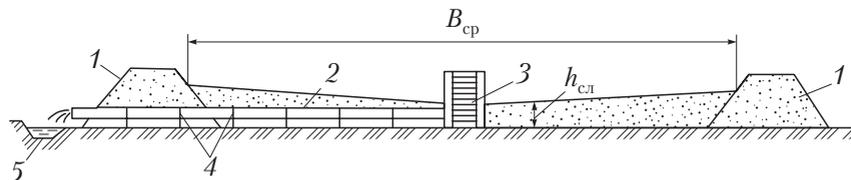


Рис. 13.5. Поперечный профиль карты намыва:

1 — дамбы обвалования; 2 — водосбросные трубы; 3 — водосборные колодцы; 4 — противодиффузионные диафрагмы; 5 — сбросная канава;  $V_{ср}$  — средняя величина полосы грунта;  $h_{сд}$  — толщина слоя намыва

транспортирования пульпы по трубопроводу составляет 1...4 м/с. Этот процесс завершается при заполнении всего бассейна прудка-отстойника. На дне прудка-отстойника устраивают водосборные колодцы с водобросными трубами, отводящими воду в пониженные места или обратно к водоему. Сечение колодца должно быть рассчитано на максимальный расход пульпы, подаваемой в прудок-отстойник. Для отвода воды из колодца устраивают штольню с уклоном дна не менее 5 % в низовую сторону.

Строительство земляного полотна способом гидронамыва осуществляется на участках, расположенных вблизи рек, озер, затопленных карьеров, и включает следующие работы:

1) подготовительные (очистка полосы отвода от леса, кустарника, снятие растительного слоя, разметка земляного полотна);

2) сооружение боковых призм из местного или привозного грунта с помощью бульдозеров, скреперов, экскаваторов с погрузкой и доставкой грунта к месту строительства, его послойное разравнивание и уплотнение;

3) сооружение ядра насыпи способом гидронамыва.

Среднюю скорость гидросмеси, соответствующую началу осаждения частиц на дно, называют *критической*. Величина критической скорости зависит от типа пульповода, состава грунта и консистенции пульпы и может быть определена из выражения

$$v_{\text{кр}} = \alpha \sqrt{3g \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2} D},$$

где  $\alpha$  — коэффициент, зависящий от крупности частиц грунта и концентрации пульпы ( $\alpha = 0,5...1,1$ );  $g$  — ускорение свободного падения м/с<sup>2</sup>;  $\rho_1$  — плотность грунта, т/м<sup>3</sup>;  $\rho_2$  — плотность воды, т/м<sup>3</sup>;  $D$  — диаметр трубопровода, м.

При  $v < v_{\text{кр}}$  возможно частичное или неполное заиливание пульпопроводов при напорном транспортировании. При  $v > v_{\text{кр}}$  транспортирование пульпы нецелесообразно, так как потери напора и расход энергии на транспортирование возрастают пропорционально квадрату увеличения скорости.

Учитывая, что построенная насыпь содержит в начальный период водонасыщенный грунт, необходимо дать время для миграции избытка воды в нижние горизонты до тех пор, пока влажность грунта насыпи не станет соответствовать оптимальному значению.

Поэтому насыпь необходимо намывать с запасом на осадку, принимаемым в 1,5 % высоты насыпи при намыве из смешанных грунтов и в 0,75 % — из песчаных грунтов.

Для сокращения трудовых затрат на подготовительные работы, укладку пульпопроводов, обвалование, а также для уменьшения затрат лесоматериалов рекомендуется при намыве насыпей высотой более 2 м применять безэстакадный торцовый способ намыва (рис. 13.6). Эта технология намыва земляного полотна осуществима при применении машин для выполнения всех вспомогательных работ и, прежде всего, для устройства обвалования и перекладки труб.

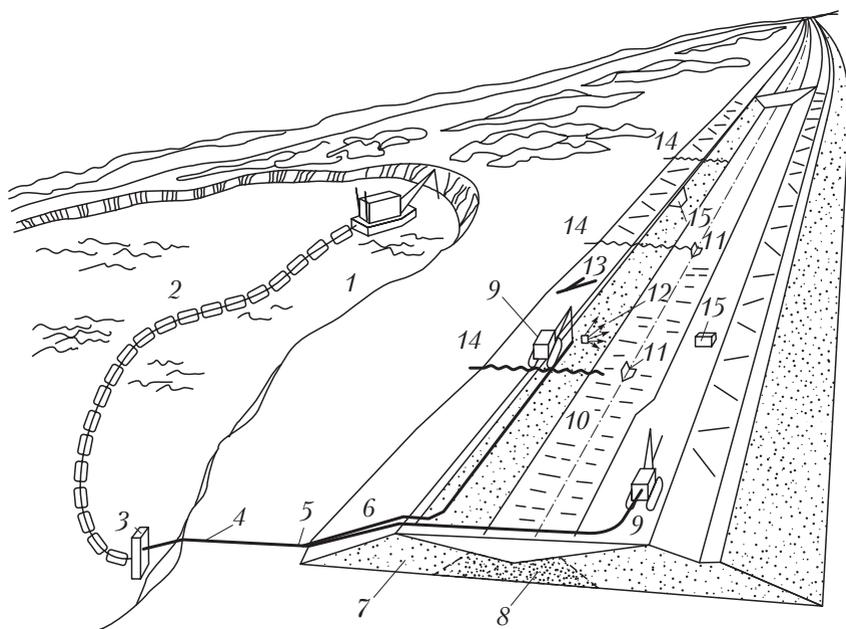


Рис. 13.6. Безэстакадный способ намыва земляного полотна:  
 1 — земснаряд; 2 — плавучий пульпопровод; 3 — устройство для подключения плавучего пульпопровода к магистральному; 4 — магистральный пульпопровод; 5 — пульпопереключатель; 6 — распределительный пульпопровод; 7 — боковые призмы; 8 — ядро насыпи; 9 — кран (гусеничный) для перемещения пульпопровода; 10 — прудок-отстойник; 11 — водосборные колодцы; 12 — направление движения пульпы; 13 — трубы для наращивания распределительных пульпопроводов; 14 — водосборные трубы; 15 — бульдозер

Если по местным условиям не представляется возможным разработать котлован с заполнением водой из водотока и последующим вводом в забой грунтового карьера земснаряда на плаву, то целесообразна разработка карьера с применением гидромониторов. Для разработки выемок гидромониторами воду подают под напором. При работе гидромониторов следует применять прямое водоснабжение (в тех случаях, когда источник имеет дебит, равный или больший расхода воды гидромониторами) или водоснабжение с повторным использованием (в тех случаях, когда воды требуется больше, чем может дать источник). Отработавшая вода для повторного использования должна быть осветлена в отстойном бассейне.

## СООРУЖЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД



### 14.1. Общие положения

---

Климатические условия Республики Беларусь различаются в северных и южных областях, что сказывается на сроках и продолжительности строительного сезона. В соответствии с этим вся территория республики подразделяется на три климатических района: северный, центральный и южный (ТКП 45-3.03–19) (рис. 14.1).

*Северный район* — влажный, находится в пределах распространения поозерского оледенения, характеризуется холмисто-грядовым рельефом. Расположен севернее линии Постава — Борисов — Кричев. Климат прохладный, средняя годовая температура воздуха 4,4...5,3 °С, годовое количество осадков — 750...860 мм, испарение — до 600 мм.

*Центральный район* — умеренно-влажный, занимает территорию распространения сожского оледенения. Расположен к югу от границ северного района до линии Щучин — Старобин — Гомель. Климат мягкий, средняя годовая температура 5,3...6,5 °С, годовое количество осадков — 650...750 мм, испарения — около 635 мм в год.

*Южный район* — неустойчиво влажный, охватывает Полесскую низменность в пределах распространения днепровского оледенения. Характеризуется равнинным, сильно пониженным, заболоченным рельефом. Климат теплый, средняя годовая температура 6,5...7,4 °С, годовое количество осадков — 600...650 мм.

В зимний период выполняют следующие работы:

- разработку выемок и резервов в сухих песчаных и гравелистых грунтах;
- возведение насыпей из любых грунтов на устойчивых основаниях при влажности, близкой к оптимальной;
- разработку в глинистых грунтах выемок глубиной более 3 м;
- устройство насыпей на болотах;
- выторфовывание;
- укрепление откосов насыпей регуляционных сооружений и русел рек каменной отсыпкой, бетонными плитами и т.п.

Основания под насыпи должны быть подготовлены до наступления зимнего периода. Для насыпей, возводимых в зимнее время, используют:

- песчаные грунты, кроме пылеватых песков;
- глинистые грунты, имеющие влажность не выше оптимальной.

Если сооружение насыпи начинается перед наступлением зимнего периода, то необходимо закончить подготовку основания и отсыпку нижних слоев до понижения температуры воздуха до отрицательных значений. Это связано с тем, что промерзание грунтов, лежащих в основании и склонных к пучинообразованию, может привести к различным деформациям. Поэтому в зимний период необходимо производить отсыпку средних слоев насыпи с таким расчетом, чтобы верхние слои насыпи отсыпать после того, как произойдет оттаивание мерзлых грунтов и их уплотнение при влажности, близкой к оптимальной. В связи с этим необходимо учитывать, из каких грунтов отсыпаны нижние слои насыпи на высоту до 1,5 м. Если в естественном основании залегают пучинистые грунты, то отсыпать насыпь высотой до 2 м при отрицательной температуре не рекомендуется независимо от того, песчаным или глинистым грунтом осуществляется отсыпка. Если отсыпка была произведена при положительных температурах, то зимой можно отсыпать средние слои при высоте насыпи более 2 м. На непучинистых грунтах естественного основания отсыпку насыпи из песчаного грунта можно осуществлять и в зимний период.

Рекомендуемые сроки возведения насыпей в зависимости от грунтово-геологических условий и высоты насыпи представлены в табл. 14.1.

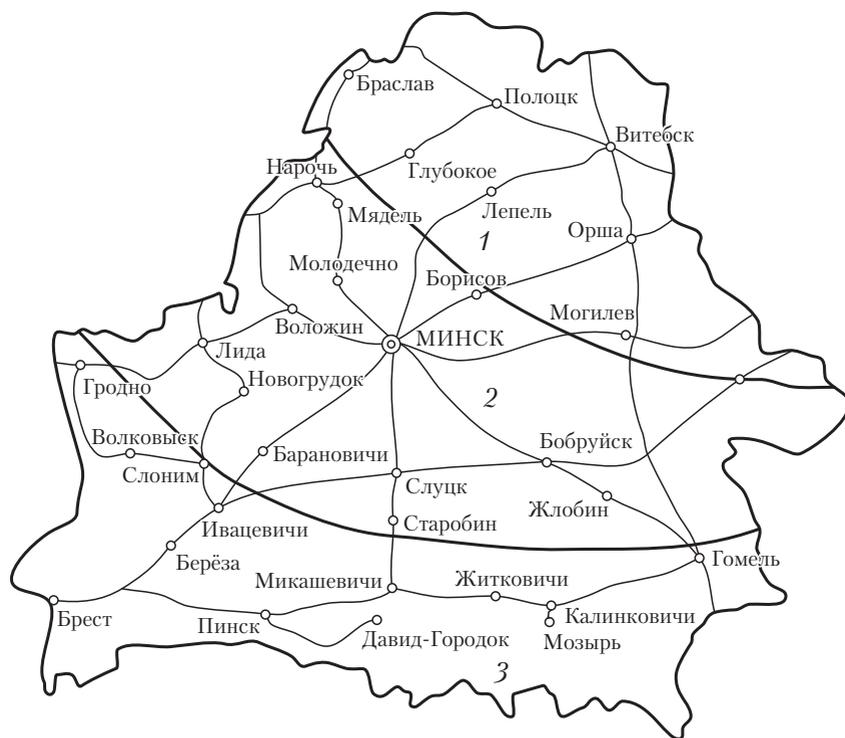


Рис. 14.1. Дорожно-климатическое районирование территории Беларуси:  
1 – северный район; 2 – центральный; 3 – южный

Таблица 14.1

**Устройство насыпи на пучинистых грунтах в зимний период  
(ТКП 313–2011)**

Грунты основания насыпи по степени пучинистости	Грунты насыпи	Высота насыпи, м	Часть насыпи	Период года с отрицательной температурой воздуха, °С		
				0...–10	–10...–20	Ниже –20
I–II непучинистый–слабопучинистый	Песчаные	До 2	Нижняя	+	+	+
			Верхняя	–	–	–
III–V пучинистый–чрезмерно пучинистый			Нижняя	–	–	–
			Верхняя	+	–	–

Окончание табл. 14.1

Грунты основания насыпи по степени пучинистости	Грунты насыпи	Высота насыпи, м	Часть насыпи	Период года с отрицательной температурой воздуха, °С				
				0...-10	-10...-20	Ниже -20		
I-II непучинистый-слабопучинистый	Песчаные	Более 2	Нижняя	+	+	+		
			Средняя	+	+	+		
			Верхняя	-	-	-		
III-V пучинистый-сильнопучинистый-чрезмерно пучинистый			Нижняя	-	-	-		
			Средняя	+	+	+		
			Верхняя	-	-	-		
I-II непучинистый-слабопучинистый	Глинистые	До 2	Нижняя	+	+	+		
			Верхняя	-	-	-		
III-V пучинистый-чрезмерно пучинистый			Нижняя	-	-	-		
			Верхняя	-	-	-		
I-II непучинистый-слабопучинистый			Более 2	Более 2	Нижняя	+	+	+
					Средняя	+	+	+
	Верхняя	-			-	-		
III-V пучинистый-сильнопучинистый-чрезмерно пучинистый	Нижняя	-			-	-		
	Средняя	+			+	+		
	Верхняя	-			-	-		

В северном дорожно-климатическом районе Республики Беларусь в зимнее время из глинистых грунтов возводят насыпи высотой до 4,5 м, а на остальной территории — не более 7 м. Досыпать насыпь до проектной высоты можно в весенне-летний период, после того как грунт оттает и просохнет. При отсыпке насыпи в зимних условиях необходимо следить, чтобы количество мерзлого грунта не превышало 30 % по отношению к общему объему грунта, а при отсыпке верхней части насыпи присутствие мерзлых комьев не допускается. Грунты зимой уплотняют тяжелыми катками и ударными машинами.



## 14.2. Подготовительные работы

Осенью для определения пригодности грунта к использованию в дорожной конструкции производят обследование мест, предназначенных для разработки резервов. Глубина обследования рав-

няется глубине разработки. В ходе обследования отбирают пробы грунта и определяют их состав, плотность и влажность. Для облегчения работы в зимний период производят устройство входных забоев, пионерных траншей, утепляющих слоев. Чтобы предохранить грунт от промерзания, выполняют:

- предварительное рыхление рыхлителями или боронами (рис. 14.2);
- засоление путем обработки техническим хлористым натрием;
- укрытие поверхности грунта такими теплоизоляционными материалами, как опилки, стружки, торф, солома, мох, синтетическое покрытие;
- удержание снежного покрова.

До наступления периода с отрицательными температурами выполняют весь цикл подготовительных работ: от очистки полосы разработки резерва или полосы отвода до уборки растительности

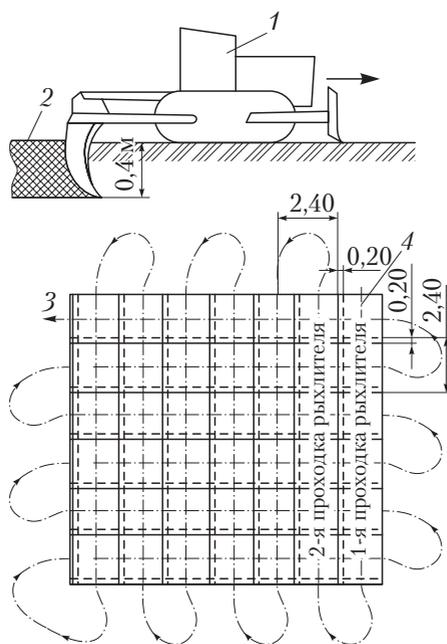


Рис. 14.2. Схема рыхления грунта для предохранения его от промерзания: 1 — рыхлитель; 2 — вспаханный грунт; 3 — схема продольной проходки рыхлителя; 4 — схема поперечной проходки рыхлителя

и снятия плодородного слоя грунта. Помимо этого проводят специальные подготовительные работы, включающие установку разбивочных знаков, не заносимых снегом, устройство водоотвода и подъездных путей, оборудование укрытий от дождя и ветра, а также помещений для обогрева рабочих.

Подготовка основания земляного полотна включает очистку полосы, ширина которой соответствует ширине насыпи понизу, от снега и льда. Если глубина промерзания сильно и чрезмерно пучинистых грунтов превышает 1,5 м, то отсыпку насыпи следует производить до наступления периода с отрицательными температурами. При наличии в откосах выемок грунтовых вод в это же время сооружают водоотводные закрытые утепленные лотки.

### 14.3. Разработка выемок и возведение насыпей в зимний период



Если подготовительные работы были проведены до наступления зимнего периода, то за одну смену до начала разработки грунта производят подготовку основания и снятие утепляющего материала. Если это не было сделано, то производится полный цикл подготовительных работ (см. гл. 3). Выбор технологии разработки грунта зависит от глубины его промерзания:

□ при промерзании 0,2...0,25 м грунт можно разрабатывать любой землеройной техникой, в том числе скрепером с объемом ковша 6,5 м<sup>3</sup> и более;

□ при промерзании 0,3...0,6 м необходимо предварительное рыхление грунта, разработку ведут экскаватором с объемом ковша более 1 м<sup>3</sup>;

□ при промерзании 0,6...1,0 м рыхление произвести невозможно и поэтому мерзлую корку взламывают механизмом ударного действия, смонтированным на тракторах или экскаваторах;

□ при промерзании 1,0...1,5 м взламывание мерзлой корки производят молотом массой 1,5...3,0 т, падающим с высоты 2...5 м, или взрывным способом.

Разрыхленный грунт снимают в течение смены, а если температура воздуха ниже -20 °С, то в течение 3...4 ч. Разработку грунта

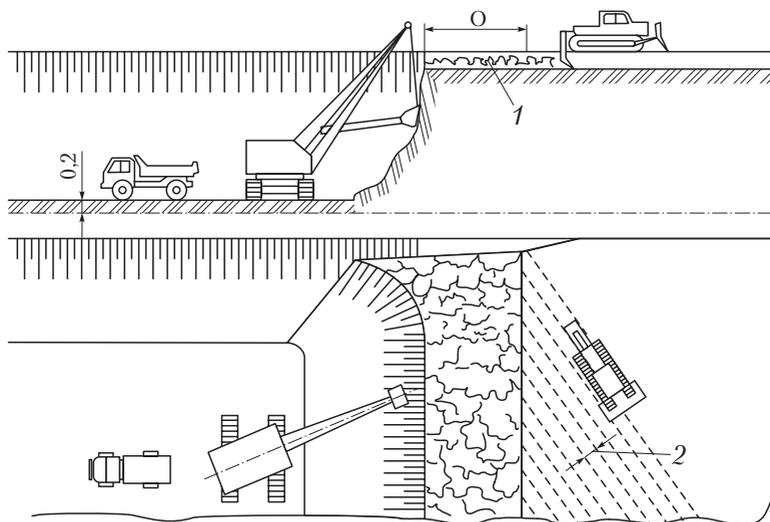


Рис. 14.3. Схема разработки грунта экскаватором в выемке в зимних условиях:

1 — разрыхленный грунт; 2 — полосы движения рыхлителя; О — опасная зона

в выемке или карьере производят экскаватором прямая лопата (рис. 14.3).

Для транспортировки грунта применяют автомобили-самосвалы с обогреваемыми кузовами или производят обмазку обычных кузовов раствором хлористого кальция, мазутом, отработанным маслом. Доставленный на место сооружения насыпи грунт разравнивают и уплотняют, причем время между отсыпкой и окончанием уплотнения зависит от температуры окружающего воздуха:

□ при температуре до  $-10^{\circ}\text{C}$  работы выполняются в течение 2...3 ч;

□  $-10...20^{\circ}\text{C}$  — 1...2 ч;

□ ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  — 1 ч.

На рис. 14.4 изображено возведение земляного полотна в зимний период: операции по расчистке основания земляного полотна от снега, доставке грунта и его выгрузке, распределению грунта определенной толщины и его уплотнению.

В зимний период мерзлый грунт, количество которого не должно превышать 30 % от общего объема, необходимо равно-



Рис. 14.4. Возведение насыпи в зимних условиях

мерно распределять по всей ширине отсыпаемого слоя. Причем размер мерзлых комьев должен находиться в пределах:

- 0,2 м — при уплотнении грунта тяжелыми катками (25 т и более);
- 0,3 м — при уплотнении трамбующими машинами.

При строительстве земляного полотна в зимних условиях следует учитывать, что наличие мерзлых комьев, залегание пучинистых грунтов в естественном основании насыпи в обязательном порядке приведет к осадке грунтов при их оттаивании. Осадка ориентировочно может составлять до 3 %; точное ее значение можно определить из выражения

$$S = 0,01H_{\text{н}}h_1 + 0,01H_{\text{пр}}K_1K_2K_3 + H_{\text{ос}} \left( 1 + \frac{\rho_{d \text{ факт}}}{\rho_{d \text{ стаб}}} \right),$$

где  $H_{\text{н}}$  — высота насыпи, см;  $h_1$  — относительное морозное пучение грунта, %;  $H_{\text{пр}}$  — глубина промерзания основания перед началом отсыпки насыпи, см;  $K_1$  — коэффициент, зависящий от отношения  $\rho_{d \text{ факт}}/\rho_{d \text{ стаб}}$  и принадлежности грунта к связному или несвязному;  $K_2$  — коэффициент, зависящий от глубины промерзания грунта;  $K_3$  — коэффициент, зависящий от вида грунта (значения коэффициентов  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  принимаются по табл. Н2, Н3, Н4 ТКП 313–2011);  $H_{\text{ос}}$  — глубина активной зоны основания ( $H_{\text{ос}} = 120 \dots 150$  см);  $\rho_{d \text{ факт}}$  — фактическая плотность сухого грунта в активной зоне до промер-

зания,  $\text{г/см}^3$ ;  $\rho_{d \text{ стаб}}$  — стабильная плотность сухого грунта ( $\rho_{d \text{ стаб}} = (0,93...0,95)\rho_{d \text{ max}}$ ;  $\rho_{d \text{ max}}$  — максимальная плотность грунта, определяемая на приборе стандартного уплотнения,  $\text{г/см}^3$ ).

Если при разработке выемки обнаружен грунт, который не рекомендуется к использованию в насыпях, его вывозят в отвалы, а для сокращения транспортных расходов складировуют в кавальеры, которые располагают в верхней части выемки на расстоянии 1,5 м от бровки при высоте кавальера 2 м и 2,5 м при высоте более 2 м.



## 14.4. Уплотнение грунтов в зимних условиях

Для уплотнения грунтов в зимних условиях применяют тяжелые (массой 20 и более) прицепные и самоходные катки (решетчатые, кулачковые, полигональные), а также механизмы ударного действия.

Для определения оптимальной толщины уплотняемого слоя и числа проходов катка по одному следу для получения необходимой плотности грунта на отсыпаемом земляном полотне выделяют участок длиной не менее 20 м, на котором производят *пробное уплотнение*. Метод пробного уплотнения включает следующие операции.

1. Доставка грунта на участок и его разравнивание слоем, толщина которого на 30 % больше толщины слоя, рекомендуемого для уплотнения данной техникой:

$$H_p = 1,3H_{\text{сл}} \frac{K_{\text{тр}}}{K_1},$$

где  $H_{\text{сл}}$  — толщина уплотненного слоя грунта;  $K_{\text{тр}}$  — требуемый коэффициент уплотнения;  $K_1$  — коэффициент начального уплотнения, зависящий от землеройно-транспортной машины (для бульдозера — 0,85, автомобиля-самосвала — 0,9, скрепера — 0,92).

2. Профилирование поверхности грунта в соответствии с требуемыми уклонами.

3. Контроль влажности грунта, которая должна находиться в пределах нижнего и верхнего значения. Нижний предел влажности составляет  $0,8W_0$  для песчаных грунтов,  $0,9W_0$  — для гли-

нистых ( $W_0$  — оптимальная влажность). Верхний предел (допустимая влажность  $W_{\text{доп}}$ ) зависит от коэффициента переувлажнения (табл. 14.2):

$$W_{\text{доп}} = K_{\text{пер}} W_0.$$

Таблица 14.2

Значения коэффициента переувлажнения  $K_{\text{пер}}$ 

Грунты	Требуемый коэффициент уплотнения грунта	
	более 0,98	0,95
Пески пылеватые, супеси легкие, супеси крупные	1,35	1,60
Супеси легкие пылеватые, тяжелые пылеватые	1,25	1,35
Суглинки легкие и легкие пылеватые	1,15	1,30
Суглинки тяжелые и тяжелые пылеватые	1,05	1,20

4. Прикатка пробной полосы легким катком 2–4 проходами по одному следу с перекрытием соседних полос на 0,3 м.

5. Определение плотности грунта после прикатки.

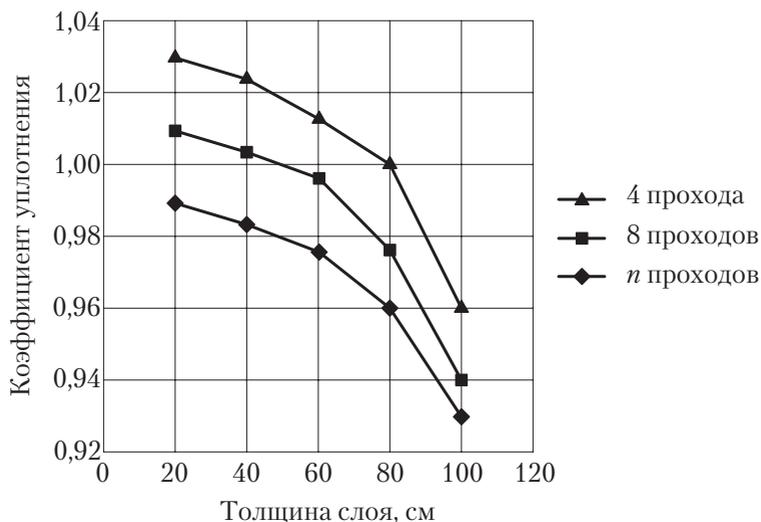


Рис. 14.5. График зависимости коэффициента уплотнения от толщины слоя и числа проходов катка

6. Уплотнение грунта тяжелыми катками.

7. Определение плотности уплотняемого грунта через 4, 8, ...,  $n$  проходов катка по одному следу.

8. Построение по полученным результатам графика зависимости коэффициента уплотнения от толщины слоя при различном количестве проходов катка по одному следу.

Оптимальную толщину слоя грунта и необходимое количество проходов для достижения требуемой плотности принимают по графику с учетом достижения требуемой плотности при минимальном количестве проходов (рис. 14.5).

Таким образом, на основании пробного уплотнения грунта строится график зависимости коэффициента уплотнения от конструктивных (толщины слоя) и технологических (число проходов катка по одному следу) параметров. По этому графику определяется оптимальная толщина уплотняемого слоя грунта, равная такой толщине, при которой достигается требуемый коэффициент уплотнения при наименьшем проходе катка.

## ПРОИЗВОДСТВО ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ

### 15.1. Общие положения

---

При строительстве автомобильных дорог вблизи водотоков, болот, в местах расположения глинистых пород в поверхностных слоях четвертичных отложений, где грунты насыщаются водой, приходится решать задачи по производству земляных работ в условиях повышенной влажности. Грунты могут также характеризоваться повышенной влажностью после выпадения обильных дождей.

При проведении работ прежде всего необходимо дать оценку степени переувлажнения (коэффициенту переувлажнения), которая представляет собой отношение фактической влажности  $W$  к ее оптимальному значению  $W_{\text{опт}}$ :

$$K_W = \frac{W}{W_{\text{опт}}}, \%$$

Оптимальная влажность определяется по графику зависимости плотности сухого грунта от влажности, который строится по результатам испытаний на приборе стандартного уплотнения.

Величину коэффициента переувлажнения определяют по табл. 15.1, в зависимости от вида грунта и степени переувлажнения. Приведенные значения коэффициента переувлажнения даны для коэффициента уплотнения, равного 1,0...0,98; для коэффициента уплотнения, равного 0,95, приведенные значения могут быть увеличены на 10 %.

Таблица 15.1

**Значение коэффициента переувлажнения  $K_W$  для связных  
и несвязных грунтов**

Степень переувлажнения грунта	Категория грунтов по влажности	Граница категорий грунтов		
		несвязных	связных	
			Пески, супеси легкая крупная и легкая	Супеси пылеватая и тяжелая пылеватая, суглинков легкий
Переувлажнение отсутствует	Оптимальная влажность	1,00	1,00	1,00
Допустимая	Допускаемая влажность	1,25	1,15	1,10
Высокая	Максимальное водонасыщение	1,40	1,45	1,50
Избыточная	Граница текучести	1,55	1,80	2,05

Ориентировочное значение оптимальной влажности можно определить из выражения

$$W_{\text{опт}} = (1 - a)W_L + b,$$

где  $W_L$  — влажность на границе текучести, определяемая на балансином конусе Васильева, %;  $a$ ,  $b$  — коэффициенты, определяемые по табл. 15.2.

Таблица 15.2

**Значение коэффициента для определения оптимальной влажности**

Параметр	Супеси и суглинки непылеватые	Супеси и суглинки пылеватые	Глины
$W_T$ , %	14...33	21...37	36...66
$a$	0,59	1,16	0,52
$b$ , %	5,96	22,33	0,94

**Допустимая влажность** — это влажность, которая позволит уплотнить грунт до состояния, регламентируемого требуемым коэффициентом уплотнения (табл. 15.3). Принимается как долевая часть от оптимальной влажности.

Таблица 15.3

**Допустимая влажность грунта при уплотнении  $W_{\text{доп}}$   
в долях от оптимальной  $W_{\text{опт}}$**

Грунты	Требуемый коэффициент уплотнения грунта $K_y$			
	Свыше 1	1...0,98	0,95	0,90
Пески пылеватые, супеси легкие крупные	0,85...1,30	0,80...1,35	0,75...1,60	0,75...1,60
Супеси легкие и пылеватые	0,85...1,20	0,80...1,25	0,75...1,35	0,70...1,60
Супеси тяжелые пылеватые, суглинки легкие и легкие пылеватые	0,90...1,10	0,85...1,15	0,80...1,30	0,75...1,50
Суглинки тяжелые и тяжелые пылеватые, глины	0,90...1,00	0,90...1,05	0,85...1,20	0,80...1,30

Допустимая влажность может быть определена из выражения

$$W_{\text{доп}} = \frac{(100 - V_a)\gamma_w}{\rho},$$

где  $V_a$  — объем заземленного воздуха в порах грунта, см<sup>3</sup> (зависит от вида грунта);  $\gamma_w$  — удельный вес воды, г/см<sup>3</sup>;  $\rho$  — плотность грунта, г/см<sup>3</sup>.

## 15.2. Применение переувлажненных грунтов при строительстве земляного полотна



Грунты средней степени переувлажнения ( $K_w = 1,1...1,25$ ) характеризуются допустимой влажностью и могут использоваться для отсыпки насыпи с условием их последующего доуплотнения в результате консолидации. В этом случае переувлажненный грунт разгружают в насыпь способом «в прижим» (рис. 15.1, д). Для ускорения процесса консолидации насыпь сооружают послойно, чередуя переувлажненные и дренирующие грунты.

Грунты с высокой ( $K_w = 1,4...1,5$ ) и избыточной ( $K_w = 1,55...2,05$ ) степенью переувлажнения могут быть использованы при отсылке насыпи только после их естественного просушивания, которое

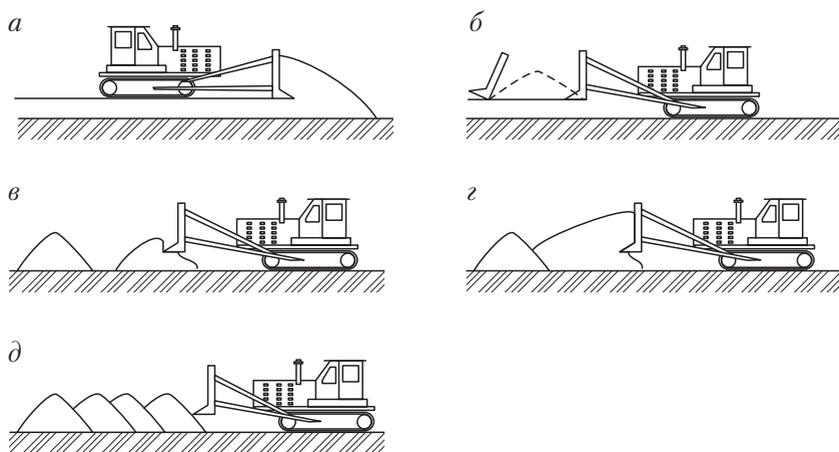


Рис. 15.1. Схема укладки грунта бульдозером:

*a* – «от себя»; *б* – «на себя»; *в* – «отдельными кучами»; *г* – «в полуприжим»;  
*д* – «в прижим»

может быть достигнуто в летний период при понижении уровня влажности в результате высокой температуры воздуха, или перемещения переувлажненного грунта в сухие места, где влажность понизится естественным путем. Это достижимо при соблюдении отрицательного водного баланса:

$$W_{\text{н}} + W_{\text{ос}} - W_{\text{исп}} < W_{\text{доп}},$$

где  $W_{\text{н}}$  – начальная влажность грунта, %;  $W_{\text{ос}}$  – влажность от выпадающих атмосферных осадков, %;  $W_{\text{исп}}$  – снижение влажности в результате испарения, %;  $W_{\text{доп}}$  – допустимая влажность грунта (см. табл. 15.3), %.

Для понижения степени переувлажнения грунта можно применять сухой несвязный грунт, топливные золы, шлаки, отходы горнорудной промышленности, а также химические способы, у которых реакция протекает со связыванием молекул воды (например, обработка негашеной известью, цементом, золой-уносом, гипсом, безводной кристаллической фосфорной кислотой и др.).

Понижение степени переувлажнения с помощью сухих материалов можно осуществлять путем *перемешивания грунтов* с повышенной и нормальной влажностью с помощью бульдозера, авто-

грейдера, фрезы. Количество добавляемого сухого грунта рассчитывают по формуле

$$V_d = K_c \frac{(W_o - W_d)(W_{пр} + 1)}{(W_{пр} - W_o)(W_o + 1)},$$

где  $K_c$  — коэффициент, зависящий от вида грунта и учитывающий однородность смеси (для песков и легких супесей — 1,1, супесей пылеватых и тяжелых пылеватых, а также легких суглинков — 1,3, тяжелых суглинков и глин — 1,5);  $W_o$  — оптимальная влажность смеси, %;  $W_d$  — влажность добавляемого сухого грунта, %;  $W_{пр}$  — влажность переувлажненного грунта, %.

Другим способом понижения влажности переувлажненного грунта является последовательное *распределение слоями* переувлажненного и сухого грунта.

При сооружении земляного полотна в местах залегания переувлажненных грунтов необходимо обеспечить водоотвод поверхностных вод путем устройства канав, кюветов, профилирования поверхности с приданием уклонов, понижения уровня грунтовых вод, устройства дренажных сооружений. При высокой и избыточной степени переувлажнения грунты отсыпают в кавальеры или резервы, где укладывают в штабеля треугольного сечения, причем подошва этих резервов должна быть более чем на 1 м выше уровня грунтовых вод.

После выпадения обильных осадков в виде дождя или дождя со снегом грунт верхнего слоя, особенно при наличии большого количества пылевато-глинистых частиц, приходит в текучее состояние. В таком случае его необходимо снять примерно на глубину 0,15 м, лучше скрепером, и переместить во временный отвал или распределить ровным слоем для быстрого подсыхания. Если перемещение переувлажненного грунта выполняют бульдозером в сухую погоду, то его распределяют полосами с оставлением между ними промежутков шириной до 1,5 м, которые заполняют грунтом при последующих проходах.

При перемещении связных грунтов с высокой степенью переувлажнения на расстояние более 100 м, или со средней степенью переувлажнения на расстояние более 600 м, или для всех видов грунтов на расстояние более 3000 м применяют погрузку пере-

увлажненного грунта экскаватором в автомобили-самосвалы. Грунты, располагаемые на дне водоемов, затопленных карьеров, бассейнов-отстойников, которые всегда характеризуются избыточной степенью переувлажнения, разрабатывают экскаватором-драглайном.

Возведение насыпи из переувлажненного грунта выполняют по следующей технологии (рис. 15.2):

1) подготавливают основание путем профилирования и доуплотнения;

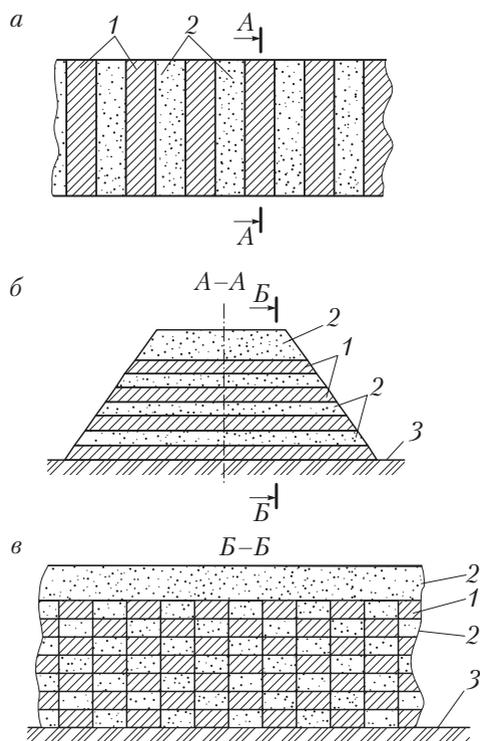


Рис. 15.2. Применение переувлажненного грунта при сооружении земляного полотна:

*a* — чередование переувлажненного и дренирующего грунта в плане; *б* — то же по вертикальному разрезу; *в* — вертикальный разрез, показывающий чередование переувлажненного и дренирующего грунтов в каждом сечении; 1 — переувлажненный грунт; 2 — дренирующий грунт; 3 — основание насыпи из грунта естественного залегания

- 2) разрабатывают переувлажненный грунт и доставляют его к месту отсыпки насыпи;
- 3) разгружают переувлажненный грунт кучами в ряд поперек полосы, равной ширине насыпи понизу;
- 4) разрабатывают грунт дренирующего грунта в карьере, резерве;
- 5) доставляют дренирующий грунт на объект строительства и, поскольку работы ведут способом «на себя», разгружают его кучами в ряд так же, как разгружали переувлажненный грунт;
- 6) работы продолжают в таком порядке до конца захватки, с чередованием переувлажненного и дренирующего грунтов;
- 7) разравнивают грунты, в результате чего получают поперечные призмы из чередующихся переувлажненных и дренирующих грунтов определенной ширины и толщины слоя;
- 8) уплотняют полученный слой грунта. При разравнивании и уплотнении производят отсыпку грунта на следующей захватке;
- 9) отсыпают следующий верхний слой, соблюдая условие, чтобы над слоем переувлажненного грунта находился слой из дренирующего грунта, и наоборот — над слоем дренирующего грунта находился слой переувлажненного грунта;
- 10) последний верхний слой отсыпают только из дренирующего грунта.

## УКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ



### 16.1. Общие положения

---

Грунт — это любая горная порода или почва, слагающие верхний слой земной коры, служащие основанием для строительных конструкций, в том числе для земляного полотна, материалом для земляных сооружений (земляного полотна, грунтовых плотин, валов и т.п.), средой для подземных сооружений, исходным продуктом для получения строительных материалов. На территории Республики Беларусь грунт представлен рыхлыми отложениями осадочного происхождения: супесями, суглинками, глинами и песками.

*Укрепление грунта* — это совокупность воздействия на грунт добавок вяжущих материалов и веществ, повышающих качество адгезии и свойства самого вяжущего, а также технологических мероприятий, способствующих образованию прочной и долговечной однородной структуры, что в конечном итоге приведет к повышению прочности и устойчивости грунта. Например, при залегании в основании земляного полотна тяжелой пылеватой супеси, относящейся к чрезмерно пучинистому грунту, невысокой насыпи и отсутствии снежного покрова промерзание приведет к морозному пучению. Чтобы этого не допустить, можно пробурить вертикальные скважины на глубину залегания пучинистого грунта, вставить в скважины инъекторы и произвести нагнетание через них раствора, связывающего минеральные частицы в единый монолит, стойкий к воздействию отрицательной температуры.

*Стабилизация грунта* — это воздействие различных химических реагентов или физических факторов, обеспечивающее сохра-

нение первичных свойств грунта без снижения их устойчивости и прочности. Например, при строительстве земляного полотна грунт был уплотнен до максимальной плотности и соответствовал оптимальной влажности, однако при излишнем увлажнении, произошедшем из-за слабых фильтрационных свойств отдельных слоев земляного полотна, грунт может перейти в категорию переувлажненного, что повлечет за собой потерю прочности и устойчивости. Однако это не произойдет, если обработать грунт известью или произвести электрохимическое закрепление.

Основными отрицательными качествами грунтов являются наличие слабых грунтов, проявление набухания, просадочности, морозного пучения, текучести. Кроме того, при укреплении грунтов большое значение приобретает такой показатель, как степень засоленности, потому что наличие пленки солей на поверхности минеральных зерен будет отрицательно сказываться на адгезии вяжущих и минеральных частиц.

Все грунты по степени пригодности для укрепления вяжущими веществами подразделяются на три группы: пригодные, условно непригодные, непригодные (рис. 16.1).

*Пригодные грунты* подразделяются на четыре подгруппы.

□ подгруппа IA — крупно- и мелкообломочные грунты в естественном виде, наиболее пригодные для укрепления любыми методами (характеризуются наиболее высокими показателями прочности);

□ подгруппа IB — песчаные, супесчаные и легкосуглинистые грунты, а также песчано-глинистые смеси оптимального гранулометрического состава;

□ подгруппа IB — суглинистые и тяжелосуглинистые грунты пылеватых и непылеватых разновидностей, характеризующиеся ограниченной пригодностью (для них рекомендуется применение комплексных методов). Для тонкого размельчения этих грунтов необходимо использовать многократные проходы фрезы, однопроходные грунтосмесительные машины или стационарные установки;

□ подгруппа IG — песчанистые и пылеватые глины, которые являются условно пригодными для укрепления. Грунты, включенные в эту подгруппу, допускаются подвергать укреплению лишь при использовании добавок активных веществ.

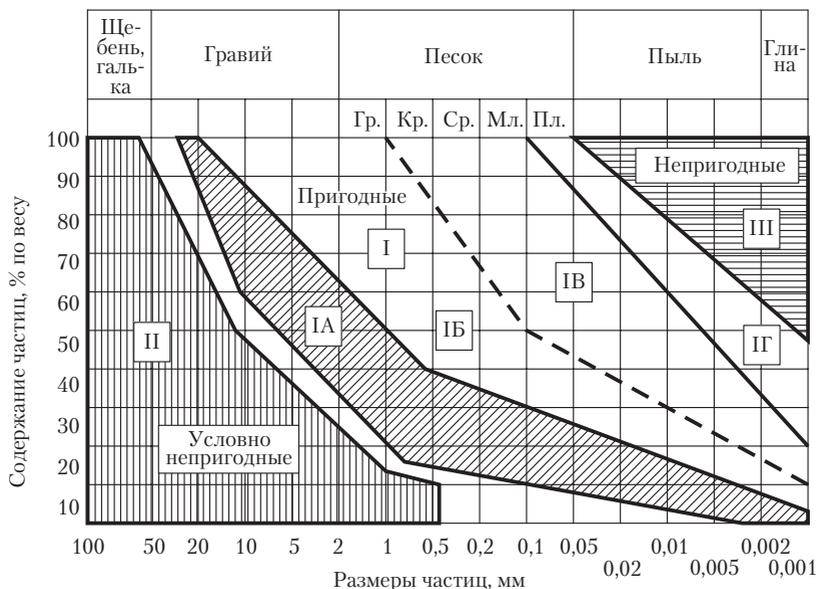


Рис. 16.1. Классификация грунтов по степени пригодности (Гр. — гравелистый; Кр. — крупный; Ср. — средний; Мл. — мелкий; Пл. — пылеватый)

*Условно непригодные* грунты включают крупнообломочные несвязные каменные породы, непригодные для укрепления лишь по причине малого содержания песчано-глинистых фракций, что приводит к большому перерасходу вяжущих веществ. Кроме того, крупнообломочные элементы, содержащие фракции более 40 мм, могут вызвать поломку рабочих органов грунтосмесительных машин.

*Непригодные грунты* представлены жирными высокопластичными глинами, обладающими большой связностью в сухом состоянии. Такие грунты требуют значительных энергетических затрат на обработку и размельчение, а также избыточного расхода вяжущих веществ, что делает укрепление экономически нецелесообразным.

Чем больше в составе грунта глинистых частиц, тем меньше его коэффициент фильтрации, следовательно, грунт задерживает в своих порах воду, которая может способствовать набуханию грунта

или морозному пучению. Например, супесь легкая, легкий и тяжелый суглинок, а также песчанистая глина образуют группу пучинистых грунтов, характеризующихся относительным морозным пучением, равным 4...7 %; пылеватый песок, пылеватая супесь и тяжелый пылеватый суглинок относятся к сильнопучинистым грунтам (7...10 %), а тяжелая пылеватая супесь и легкий пылеватый суглинок являются чрезмерно пучинистыми грунтами, характеризующимися относительным морозным пучением более 10 %. Не следует забывать о минералогическом составе глинистых грунтов, в основе которых лежат такие вторичные минералы, как каолинит, монтмориллонит и гидрослюда. Присутствие в глинистых грунтах монтмориллонита, распространение которого в земной коре достигает 30 %, также способствует набуханию грунта. Таким образом, наличие глинистых грунтов в земляном полотне может привести к его деформации, что отразится на общем состоянии дорожной конструкции. Чтобы этого не допустить, необходимо максимально уменьшить содержание глинистых частиц путем добавления или чередования слоев с песчаным грунтом. Одним из мероприятий повышения устойчивости грунта к набуханию или морозному пучению является его укрепление.

Слабые грунты, характеризующиеся низкими сопротивлением на сдвиг (менее 0,075 МПа) и модулем деформации (ниже 5,0 МПа), высоким модулем осадки (более 50 мм/м), могут быть использованы в качестве основания, что позволит снизить стоимость и трудоемкость работ. Однако для этого необходимо произвести их стабилизацию или укрепление.

Просадочность грунта, заключающаяся в уменьшении объема грунта при замачивании и уменьшении слоя промачивания на 12 % и более, характеризует грунт как сильно просадочный; этого можно не допустить путем связывания излишка воды или создания устойчивой структуры к воздействию воды.

М.И. Вейцман в справочнике инженера-дорожника «Строительство автомобильных дорог» представил классификацию грунтов по их пригодности при сооружении земляного полотна. На основании этой классификации такие категории грунтов, как тяжелая пылеватая супесь и жирная глина, относятся к непригодным грунтам, а песок пылеватый, супесь пылеватая, суглинок легкий пыле-

ватый и тяжелый пылеватый, а также пылеватая глина — к мало-пригодным.

Таким образом, отрицательные качества грунта при строительстве земляного полотна могут быть снижены или устранены путем стабилизации или укрепления грунта.

## 16.2. Классификация методов укрепления грунта

---

В практике строительства, в том числе дорожного, существующие методы укрепления грунтов подразделяются на четыре группы: механические, физические, физико-химические и химические.

*Механические методы* основаны на получении структуры грунта с наименьшим количеством пор, следовательно, с содержанием воды около оптимального значения. Такое состояние грунта возможно при максимальном сближении минеральных частиц без их разрушения и достигается различными способами уплотнения: за счет воздействия статических (гравитационных нагрузок, укатки), динамических (трамбования, уплотнения сваями), сейсмических (за счет энергии взрыва), вибрационных (поверхностных и глубинных) нагрузок, а также путем осушения (с помощью дренажа, электроосмотического метода, электровакуумирования) или, наоборот, водонасыщения (устранения просадочности лессовых грунтов).

*Физические методы* основаны на воздействии на гетерогенную систему грунта электрического тока (электрообработка без введения химических добавок, электролитическая обработка, электросиликатизация) или температуры (термическое — с помощью поля положительных температур, замораживание).

*Физико-химические методы*, основанные на изменении структуры грунта путем диспергации (ослабление связи между частицами), агрегации (образование агрегатов путем коагуляции) и гидрофобизации (отсутствие взаимодействия с водой), включают кольтматацию (заполнение пор фильтрующимися глинистыми суспензиями), глинизацию (вмыв под давлением глинистых частиц в трещины), солонцевание (замена обменных многовалентных катионов на одновалентные).

*Химические методы* основаны на введении в грунт химических реагентов, образующих новые структурные связи, соединяющие минеральные частицы в единый монолит. Это достигается за счет таких процессов, как адсорбция, ионный обмен, коагуляция, гидратация, гидролиз, поликонденсация, полимеризация и др. В практике строительства к химическим методам относятся:

□ укрепление грунтов органическими вяжущими веществами (битумизация холодная и горячая при содержании вяжущего 8...12 %);

□ укрепление минеральными вяжущими веществами (цементация — 8...20 %, известкование — 8...12 %, гипсование, вяжущими на основе техногенных отходов — золы-уноса, шлаков и др.);

□ укрепление синтетическими полимерными смолами (фенолформальдегидными, мочевиноформальдегидными — карбамидными, фенолфурфурольными, фурфуроланилиновыми и др.);

□ укрепление глинистых грунтов фосфатами (фосфорной кислотой, двойным и обычным суперфосфатом);

□ комплексные, в которых, помимо основного вяжущего, применяют добавки, усиливающие положительный эффект.

В качестве органических вяжущих для укрепления грунтов применяют *битумы*, находящиеся в жидком или эмульсионном состоянии. При перемешивании или пропитке грунта битумным вяжущим на поверхности минеральных частиц образуется битумная пленка, которая, во-первых, защищает частицу от воды, т.е. гидрофобизирует ее поверхность, а во-вторых, склеивает частицы между собой, а после остывания битума, испарения его легких фракций или отжатия воды у эмульсий загустевает и твердеет. За счет того что битумы в любом состоянии обладают определенной вязкостью, добиться качественного обволакивания минеральных зерен битумной пленкой можно только при приготовлении асфальтобетонной смеси, а при укреплении сделать это невозможно. Поэтому, как правило, пленка создается вокруг агрегатов размером 2...4 мм, что существенно снижает прочностные свойства укрепленного грунта.

Горячая битумизация применяется для закрепления трещиноватых пород с раскрытием трещин до 0,1...1 мм, холодная — для гравелисто-песчаных и песчаных пород с коэффициентом фильтрации  $K_f$  от 10 до 100 м/сут. Грунты, укрепленные битумом,

по природе структурных связей относятся к коагуляционным структурам. Наилучшие результаты достигаются при укреплении супесчаных и легкосуглинистых грунтов. Непригодны для укрепления битумами тяжелые суглинки, пылеватые глины и песчаные грунты.

Одним из эффективных способов укрепления грунтов является их обработка *минеральными вяжущими*, что позволяет получить высокие прочностные результаты. При цементации грунтов происходят следующие процессы:

- химические — гидратация и гидролиз цементных зерен;
- физико-химические — обменные поглощения продуктов гидролиза цемента тонкодисперсной частью грунта, необратимая коагуляция, микроагрегирование, цементация;
- физические и механические — размельчение грунта и перемешивание с цементом.

В процессе структурообразования происходит переход оксида кальция в раствор гидроксида, перенасыщение им раствора и образование гидроалюминатов, гидросиликатов кальция и других гидратов. Возникшие кристаллы начинают расти, переплетаться между собой и срачиваться, формируя кристаллизационную структуру. Для укрепления грунтов цементом необходимо не менее 8 % и не более 18...20 % минерального вяжущего. Прочность укрепленного грунта в зависимости от класса колеблется от 1,0 до 6,0 МПа, коэффициент морозостойкости — от 0,65 до 0,75.

*Синтетические смолы* характеризуются хорошей растворимостью до отверждения, однако после введения отвердителя (например, раствора кислоты) затвердевают и приобретают нерастворимость, хорошую адгезию и высокие механические свойства. Смолы (фенолформальдегидные, мочевиноформальдегидные, фенолфурфурольные, анилиноформальдегидные) за счет наличия полярных групп, имеющих небольшую молекулярную массу, хорошо растворяются в воде (нормальная концентрация при разбавлении водой 1:1), что способствует образованию растворов с низкой вязкостью и как следствие хорошей проникающей способностью в поры грунта, что необходимо при укреплении грунтов неразрушающими методами. Смолы образуют конденсационную структуру, которая относит их к классу полужестких материалов. Отверждение смол происходит в присутствии кислот (например, 5%-ного раствора соляной кислоты) или кислых солей (хлорное железо), при которых происходит

преобразование глобулярной структуры в сетчатую. При внесении в сухой или влажный грунт смолы прочно склеивают частицы и агрегаты в местах их контакта. Синтетические смолы в системе полимер–грунт находятся в трех видах:

- пленки, покрывающие поверхность частиц;
- пространственные сетчатые структуры глобулярного или кристаллического строения, включающие в себя частицы грунта;
- самостоятельные элементы, заполняющие поровое пространство в укрепленном грунте.

Для укрепления синтетическими смолами наиболее пригодны грунты оптимального гранулометрического состава с  $pH < 7,0$ ; непригодны карбонатные тяжелые суглинки, легкие и тяжелые суглинки, глины. Гель карбамидной смолы способен к взаимодействию с любым минеральным скелетом, за исключением кальцитов.

*Комплексные методы* сочетают в себе положительные качества отдельных вяжущих веществ и устраняют их отрицательные особенности. К задачам, решаемым с помощью комплексных методов, относятся расширение видов грунтов, пригодных для укрепления; обеспечение оптимальных условий для процессов твердения и структурообразования; расширение продолжительности сезона строительства; применение укрепленных грунтов на дорогах различных технических категорий.

Комплексному укреплению поддаются практически все генетические типы грунтов. Характерной особенностью комплексных методов укрепления является формирование структурно-механических свойств смешанного типа с преобладанием жестких (кристаллизационных) или пластичных (коагуляционных) структур. В качестве добавок при комплексном укреплении грунтов с использованием цемента как основного вяжущего наиболее часто применяются известь, хлористый кальций, электролиты, едкий натр, гипс, а также ряд поверхностно-активных веществ.



### 16.3. Способы и технологии укрепления грунтов

Укрепление грунтов как способ повышения его прочностных свойств может осуществляться путем смешения грунта с вяжущим веществом, что сопряжено с разрушением структуры естественных отложений (способ смешения) и без нарушения структуры природного залегания грунта (инъекционный способ).

Способ *смешения* представляет собой равномерное распределение вяжущего вещества в грунтовой массе путем перемешивания компонентов системы грунт–вяжущий материал. Для работы используется грунтосмесительная техника: автогрейдер, фреза, однопроходная грунтосмесительная машина, смесительная установка. Данный способ состоит из следующих рабочих операций:

- 1) доставка грунта, подлежащего укреплению, и его распределение на поверхности основания или земляного полотна с последующим уплотнением (прикатка легкими катками);
- 2) разрыхление слоя грунта определенной толщины;
- 3) распределение вяжущего материала по поверхности грунта (при укреплении порошкообразным вяжущим) или введение его в грунт через распределительную систему фрезы (при внесении жидкого вяжущего) при разрыхлении;
- 4) перемешивание смеси;
- 5) профилирование поверхности;
- 6) уплотнение до максимальной плотности.

Данный способ является традиционным и применяется при наличии открытой поверхности, подлежащей укреплению. Этим способом укрепляют грунты при строительстве оснований, в том числе основания земляного полотна, и переходных покрытий автомобильных дорог, а также каменные материалы, обработанные вяжущим веществом способом смешения на дороге. В качестве вяжущих веществ могут применяться комплексные составы, включающие как минеральные, так и органические вещества. Например, укрепление грунта битумной эмульсией и цементом (рис. 16.2) выполняется на четырех захватках:

□ на первой производят подготовку земляного полотна путем профилирования его поверхности автогрейдером и доуплотнение пневмокатком;

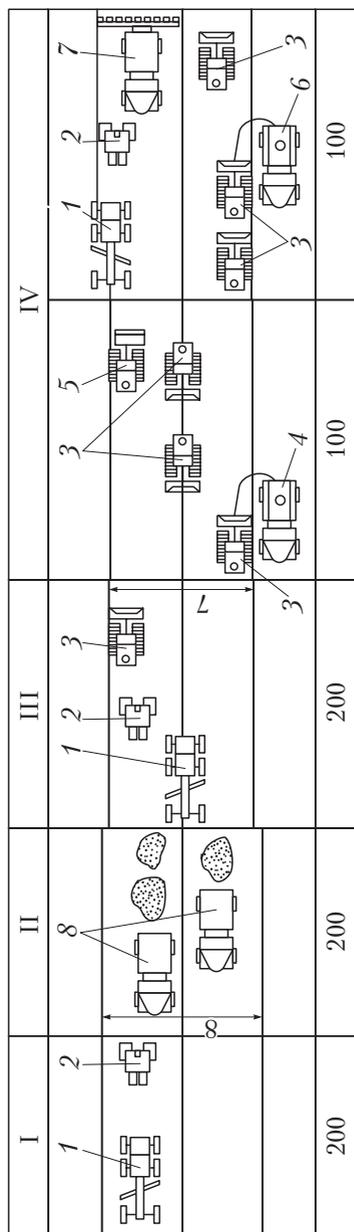


Рис. 16.2. Технологическая схема устройства основания из супесчаного грунта, укрепленного битумной эмульсией и цементом, с помощью дорожной фрезы:

1 — автогрейдер; 2 — каток на пневмошинах; 3 — дорожная фреза; 4 — автобитумовоз; 5 — распределитель цемента; 6 — поливомоечная машина; 7 — автогудронатор; 8 — автомобиль-самосвалы

- на второй отсыпают грунт, доставленный из карьера;
- на третьей разравнивают грунт необходимой толщины, профилируют его поверхность автогрейдером и уплотняют пневмокатком;
- на четвертой захватке укрепляют грунт путем распределения цемента по поверхности грунта с помощью распределителя, перемешивания грунта с цементом с одновременным введением в смесь битумной эмульсии через распределительную систему фрезы, окончательного перемешивания путем последующих проходов фрезы с одновременным доувлажнением смеси до оптимальной влажности, окончательного профилирования поверхности укрепленного грунта, уплотнения смеси пневмокатком, распределения защитной пленки по поверхности укрепленного грунта автогрудронатором.

*Инъекционный способ* (рис. 16.3) представляет собой нагнетание под давлением раствора вяжущего вещества с низкой вязкостью в поры грунта через перфорированные трубы — инъекторы, которые заглубляются в грунт на определенную глубину. Инъектирование раствора может осуществляться как в верхние слои грунта (поверхностное), так и на достаточную глубину (глубинное).

Инъекционный способ относится к неразрушающим способам закрепления грунтов, что особенно важно при глубинных методах ведения работ, в городских стесненных условиях или когда невозможно применить другие способы по закреплению грунта без разрушения эксплуатируемой конструкции.

Приготовленный раствор, представляющий собой смесь вяжущего (смолы, силикат натрия и др.) с водой и отвердителем, нагнетается под давлением в грунт. Радиус или глубина проникновения раствора в поры грунта зависит от создаваемого давления, фильтрационных свойств грунта (коэффициент фильтрации более 2 м/сут.) и конструкции инъектора (радиальный, сферический). После отверждения смолы (время гелеобразования регулируется количеством отвердителя) получают монолитную глыбу с размером, равным глубине проникания раствора в грунт (рис. 16.4). Если области проникновения растворов соединяются между собой, возникает сплошной объем укрепленного грунта с заданными прочностными свойствами.

В практике строительства возникают случаи, когда необходимо произвести закрепление грунта, но он обладает низким коэффициентом фильтрации (менее 1 м/сут.), что делает инъекционный

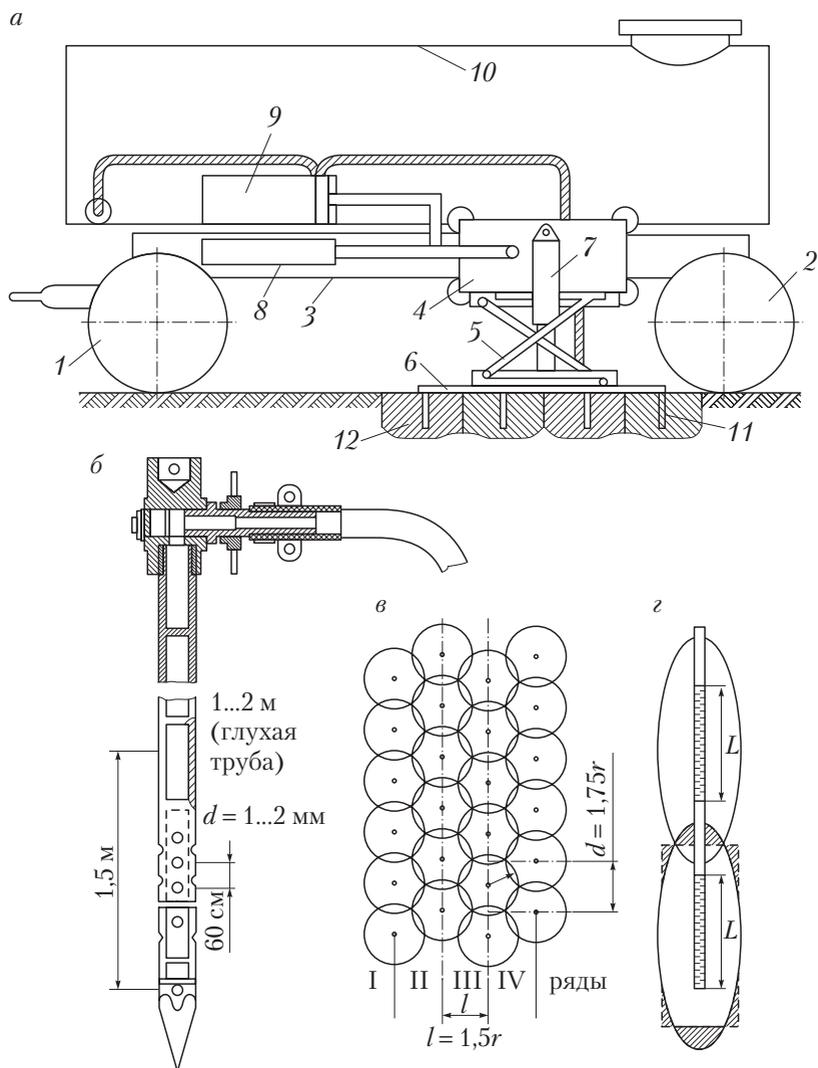


Рис. 16.3. Оборудование для инъекционного способа закрепления грунта: *a* – машина для поверхностного инъецирования (1 – передняя; 2 – задняя подвеска; 3 – рама; 4 – тележка; 5 – пантографное устройство; 6 – плита; 7, 8 – гидроцилиндры; 9 – нагнетатель; 10 – емкость; 11 – инъециктор для поверхностного закрепления грунта; 12 – укрепленный грунт); *б* – инъециктор для глубинного закрепления грунта; *в* – схемы заглубления инъецикторов для сплошной пропитки; *з* – схема глубинного закрепления

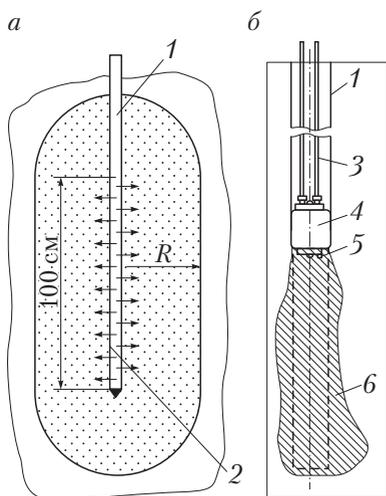


Рис. 16.4. Области проникновения раствора в грунт от инъектора: *а* — через перфорированную часть инъектора (жидкий раствор); *б* — через открытый конец инъекционной трубы (цементно-песчаный раствор); 1 — глухое звено инъектора; 2 — перфорированная часть инъектора; 3 — труба для подачи цементно-песчаного раствора; 4 — заглушка; 5 — открытый конец инъектора; 6 — цементно-песчаный раствор

способ неэффективным. В этом случае рабочий орган представляет собой смеситель (лопастный, спиральный, шнековый), который при вращении рыхлит грунт, а при подаче любого вяжущего вещества, в том числе портландцемента, смешивает его с грунтом. Такой способ применим при усилении основания дорожной конструкции без ее разрушения или при борьбе с пучинами путем устройства буронабивных свай.

При строительстве земляного полотна закрепление грунта способом инъектирования возможно в следующих случаях:

- для повышения устойчивости откосов и земляного полотна на косогорных участках (рис. 16.5);
- при борьбе с пучинами на дорогах;
- для усиления основания земляного полотна и повышения устойчивости слабых грунтов путем армирования сваями из закрепленного грунта.

Технология укрепления грунта способом инъектирования для повышения устойчивости откоса включает следующие работы:

- 1) подготовительные по установке инъекционного оборудования на поверхности или рядом с откосом;
- 2) приготовление рабочего раствора с введением отвердителя;
- 3) рабочий процесс по нагнетанию вяжущего вещества в грунт, включающий: бурение скважин или задавливание инъектора в по-

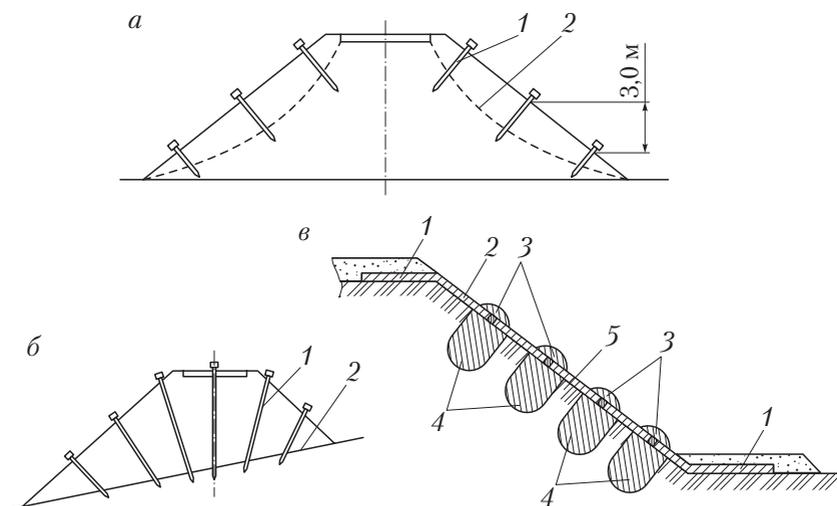


Рис. 16.5. Закрепление грунта земляного полотна:

*a* — схема расположения иньекторов при глубинном иньектировании для повышения устойчивости откосов (1 — иньектор; 2 — кривая скольжения); *б* — схема расположения иньекторов для усиления устойчивости насыпи земляного полотна на косогорном участке (1 — иньектор; 2 — уклон местности); *в* — поверхностное иньектирование для предохранения откоса от эрозии (1 — фиксирование нетканого материала у подножия и на вершине откоса; 2 — нетканый материал; 3 — верхняя часть; 4 — нижняя часть закрепленного массива; 5 — поверхность откоса)

верхность откоса; подсоединение иньектора к нагнетательной системе; нагнетание раствора; извлечение и промывку иньекторов.

Укрепление грунтов способом иньектирования широко применяется для предупреждения оползания грунта на поверхности откоса, особенно при малом заложении, в выемках автомобильных дорог или конусах мостовых переходов (рис. 16.6, *a*). При устройстве выемок в грунтах естественного залегания и неглубоком залегании подземных вод могут происходить суффозионные процессы, связанные с выносом минеральных частиц подземными водами с образованием пустот или зон разуплотнения. В этом случае глубинное иньектирование становится единственным средством борьбы с этим явлением (рис. 16.6, *б*).

Применение иньекционного способа при борьбе с пучинами является весьма эффективным, так как устраняет процесс набуха-

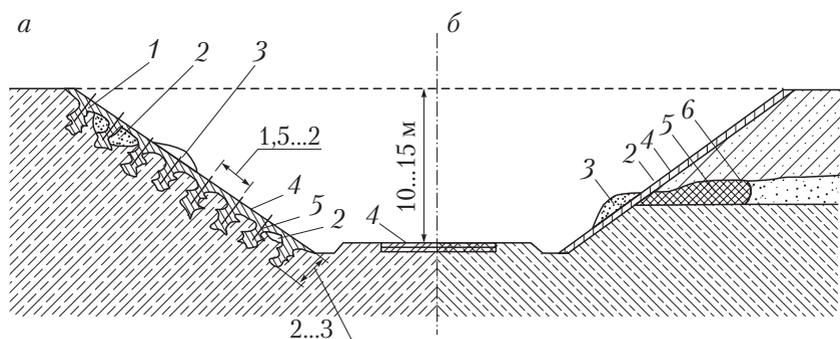


Рис. 16.6. Укрепление грунтов способом инъектирования:  
*a* — на глубину 2...3 м; *б* — для предупреждения оползания грунта на откосе;  
 1 — глубинная область закрепления; 2 — поверхностная область; 3 — оплывший грунт; 4 — гидроизолирующее покрытие; 5 — иньектор; 6 — пробка из за-  
 крепленного грунта для ликвидации суффозионного процесса

ния грунтов без разборки дорожной конструкции. На глубину расположения слабого слоя нагнетается раствор вяжущего вещества, который после затвердевания омоноличивает грунт слабого слоя и, таким образом, ликвидирует образование пучин на дорогах. На рис. 16.7, *a* показан пример глубинного закрепления пылеватого песка (Д.В. Волоцкой), который относится к сильнопучинистому грунту с относительным морозным пучением 7...10 %. При возведении невысокой насыпи на таком грунте вполне вероятным является возникновение пучин, которые повлияют на прочность и целостность дорожной одежды. Чтобы не допустить разрушения дорожной конструкции, в дорожной одежде бурятся скважины с шагом, равным двойному радиусу пропитки грунта, через которые заглубляются иньекторы. Раствор вяжущего вещества при его нагнетании в грунт распространяется на радиус, зависящий от коэффициента фильтрации грунта, времени и давления нагнетания. Радиусы соединяются, образуя сплошной массив закрепленного грунта, который не допустит образование пучин.

К сильнопучинистым грунтам, кроме вышеупомянутого, относятся супесь пылеватая и суглинок тяжелый пылеватый, а к чрезмерно пучинистым грунтам, характеризуемым относительным морозным пучением более 10 %, — супесь тяжелая пылеватая и суглинок легкий пылеватый. На рис. 16.7, *б* приведен случай, когда

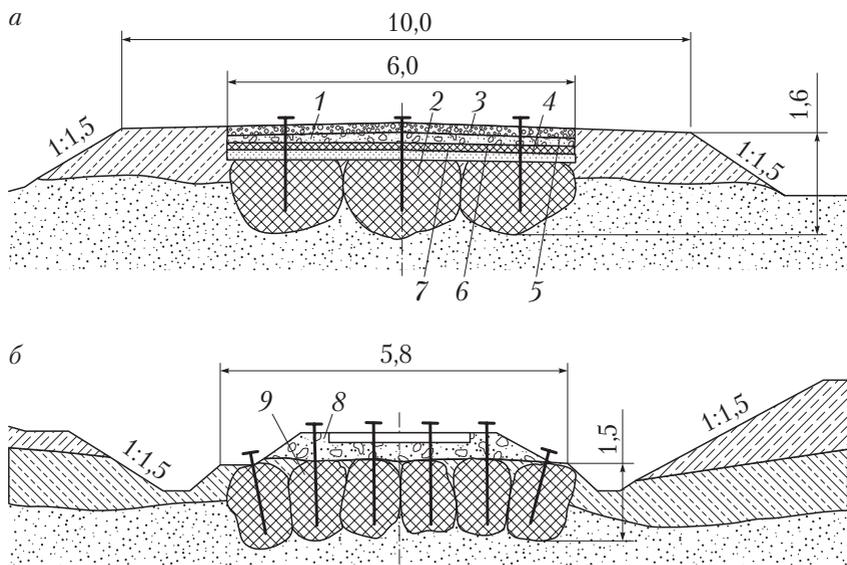


Рис. 16.7. Химическое закрепление грунта при борьбе с пучинами:  
*a* — укрепление основания насыпи; *б* — укрепление основания земляного полотна в выемке; 1 — дорожная одежда; 2 — массив закрепленного грунта; 3 — поверхностная обработка; 4 — черный гравий; 5 — верхний слой основания; 6 — нижний слой основания; 7 — песчаный подстилающий слой; 8 — грунтовая насыпь; 9 — массив укрепленного грунта

при разработке выемки подстилающим слоем земляного полотна является пылеватая супесь, подстилаемая пылеватым песком. Такой пример устройства земляного полотна является одним из самых неблагоприятных в геологическом плане. Чтобы избежать образования пучин, были пробурены скважины на глубину 1,5 м и произведено нагнетание закрепляющего раствора, который связал оба грунта в единый монолит и создал своеобразный фундамент для насыпи земляного полотна.

Технология устройства буронабивных свай включает следующие операции:

- 1) установку шнека буровой машины в вертикальное положение (рис. 16.8, *a*);
- 2) заглубление шнека на проектную глубину путем бурения (рис. 16.8, *б*);

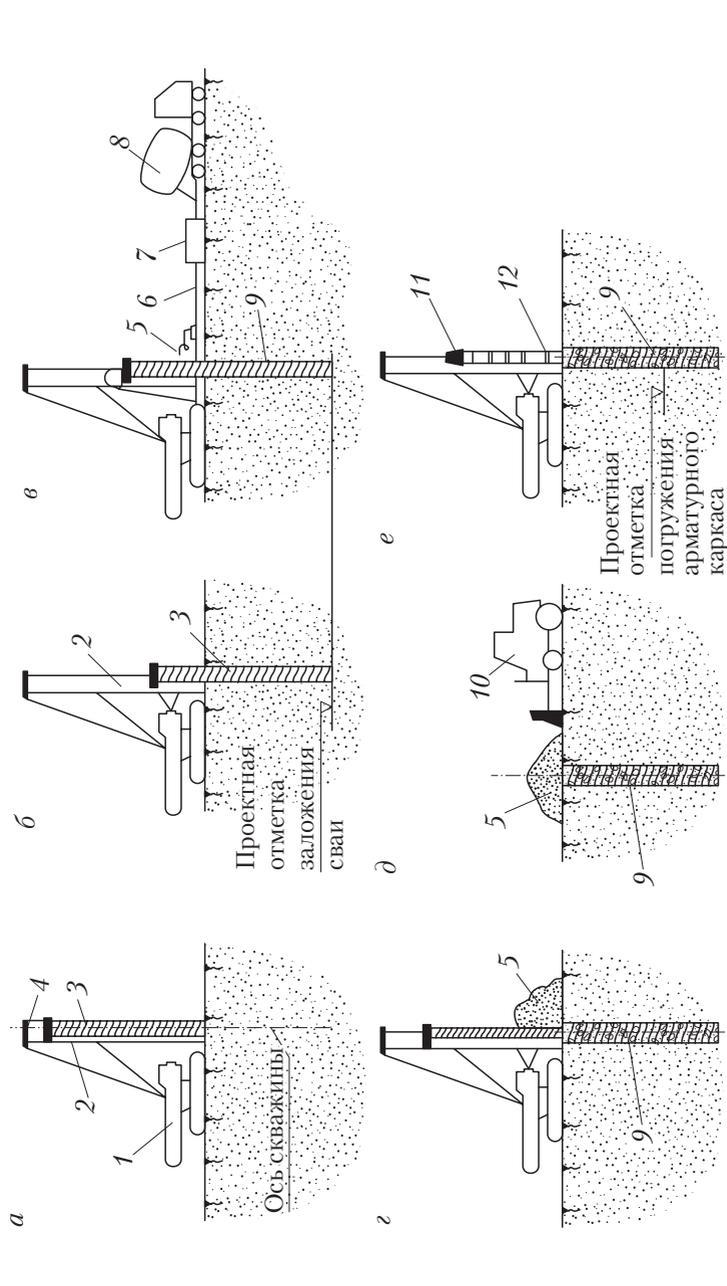


Рис. 16.8. Устройство буронабивных свай:

1 — буровая машина; 2 — направляющая шнек; 4 — лебедка; 5 — извлеченный из скважины грунт; 6 — бетононасос; 7 — бетоновоз; 8 — бетоновоз; 9 — подвижная бетонная смесь; 10 — погрузчик; 11 — вибропогружатель; 12 — арматурный каркас

3) подъем шнека с грунтом с одновременным бетонированием скважины (рис. 16.8, в);

4) извлечение шнека из скважины и удаление грунта (рис. 16.8, г);

5) удаление грунта от скважины (рис. 16.8, д);

6) погружение арматурного каркаса (рис. 16.8, е).

Помимо вышеперечисленного, закрепление грунта способом инъецирования может быть использовано:

- при устройстве подпорных стенок в стесненных условиях;
- для усиления прочности дорожной одежды;
- при борьбе с трещинами в дорожном покрытии;
- для ликвидации качания цементобетонных плит на жестких дорожных покрытиях;

- для гидроизоляции (например, тоннеля или коллектора) со стороны засыпки и создания прочного грунта вокруг тела подземной конструкции.

# IV

РАЗДЕЛ

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

- 
- Глава 17. Контроль качества и приемка работ
  - Глава 18. Оценка устойчивости откосов и склонов
  - Глава 19. Основные принципы организации и планирования земляных работ
  - Глава 20. Технологическая карта на возведение земляного полотна

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ПРИЕМКА РАБОТ



### 17.1. Общие положения

---

**Качество продукции** — это совокупность свойств, обуславливающих пригодность продукции, удовлетворяющих определенные потребности в соответствии с ее назначением. Продукцией дорожного строительства является построенная дорога. Качество автомобильной дороги зависит от качества проектных решений и применяемых материалов, эффективности технологических процессов производства работ и применяемых средств механизации и автоматизации, соблюдения требований норм и технических условий, квалификации и знаний инженерно-технических работников.

Для обеспечения качества требуется проведение **технического контроля**. Это совокупность мероприятий по определению основных характеристик качества применяемых материалов, технологических процессов и готовой продукции и сопоставлению их с требованиями проекта, норм, технических условий и стандартов. Различают производственный контроль и технический надзор.

**Производственный контроль** осуществляется ежедневно техническим персоналом, который непосредственно руководит работами: прорабом, мастером, бригадиром. Этот контроль производится в форме осмотра, инструментального обмера и инструментальной проверки. Разновидностью производственного контроля является **инспекторский контроль**, который производится инженерно-техническими работниками вышестоящей организации. Они имеют право давать распоряжения и указания только в пределах утвержденного проекта и действующих технических норм.

Под **осмотром** понимают осмотр в процессе постройки или ремонта отдельных элементов сооружения, которые далее будут полностью или частично скрыты последующими работами (осмотр основания перед укладкой покрытия), осмотр и обмер вывезенных на место работ материалов (осмотр и взвешивание извести или цемента перед смешиванием их с грунтом). При осмотре земляного полотна проверяются:

- пригодность грунта;
- наличие и качество противооползневых и дренажных сооружений;
- характер и качество противопучинных мер;
- качество установки ограждений и планировки обочин;
- качество работ по исправлению системы водоотвода

**Технический надзор** — комплекс технических мероприятий, включающий: систематические осмотры, обследования сооружений, проверку условий функционирования конструкций с целью своевременного выявления дефектов и повреждений, оценку остаточного срока службы, определение объемов, видов ремонтных работ.



## 17.2. Виды контроля

---

В дорожном строительстве различают три вида контроля: входной, операционный, приемочный.

**Входной контроль** заключается в испытании грунтов, исходных материалов и смесей. Его целью является обоснование возможности применения грунтов, материалов и смесей в строительстве дорожных сооружений.

**Операционный контроль** заключается в измерении показателей качества выполнения технологических операций и сопоставлении их с проектными или нормативными значениями. Его целью является обеспечение качества объекта путем регулирования параметров технологических процессов.

**Приемочный контроль** состоит в определении показателей качества законченных дорожных сооружений и сопоставлении их с проектными или нормативными значениями. Его цель — оценка качества готовых дорожных сооружений.

До начала сооружения земляного полотна проверяют соответствие фактических показателей состава и состояния грунта принятым в проекте. Состав характеризуют гранулометрическим составом грунта (крупностью частиц) и пластичностью глинистых грунтов (числом пластичности и показателем текучести), которые определяют по наименованию вида и разновидности грунта, наличию крупных включений, влажности.

Состояние характеризуют влажностью (естественной, оптимальной влажностью, полной влагоемкостью, степенью влажности, влажностью на границе текучести и границе раскатывания) и плотностью (дисперсного грунта, сухого грунта, частиц грунта, пористостью и коэффициентом пористости).

При входном контроле проверяют:

- состав грунта по наименованию вида и разновидности;
- наличие крупных включений;
- влажность грунта в резервах, выемках, карьерах.

Проверка резервов, карьеров, выемок производится путем бурения или шурфования с отбором проб. Глубина отбора проб должна соответствовать проектной глубине выработки. При однородных грунтах допустимо отбирать одну пробу, при изменении состава или влажности — не менее трех по глубине.

При входном контроле на опытных захватках выполняется настройка технологического процесса уплотнения грунтов методом «пробного уплотнения».

При операционном контроле проверяют:

толщину снимаемого плодородного слоя (контролируют по разности отметок, непосредственному измерению на обресе, цвету грунта);

плотность грунта в основании земляного полотна, в слоях насыпи (плотность дисперсного грунта по оси земляного полотна и в 1,5...2 м от бровки, а при ширине отсыпаемого слоя более 20 м дополнительно посередине между осью и бровкой) (рис. 17.1). Плотность грунта на откосах контролируют путем отбора проб в центре откоса и на расстоянии 1 м от бровки и подошвы земляного полотна;

влажность используемого грунта (естественную влажность);

толщину отсыпаемых слоев с учетом осадки на уплотнение (по разности отметок);

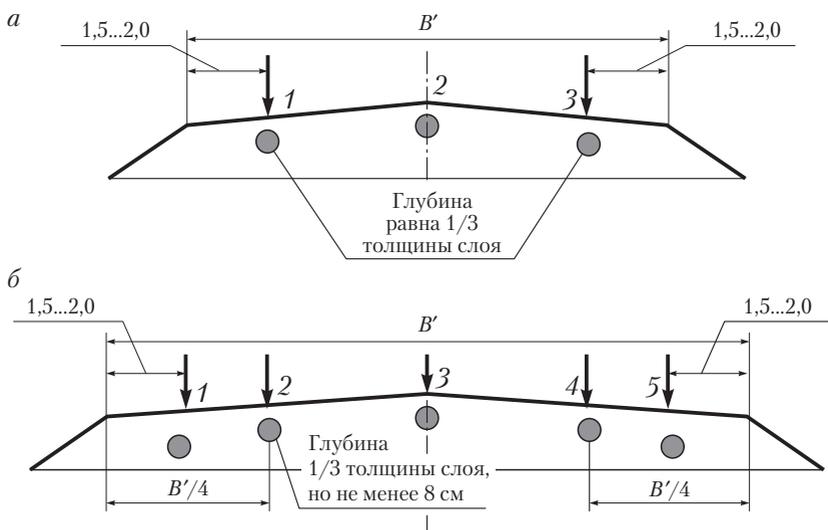


Рис. 17.1. Схема измерения плотности грунта земляного полотна: а — при ширине отсыпаемого слоя  $B' \leq 20$  м; б — при  $B' > 20$  м; 1–5 — места контроля плотности грунта земляного полотна

□ однородность грунта в слоях насыпи (при визуальной оценке принимается во внимание цвет, степень агрегированности и технологические особенности — липкость, для точного измерения определяют показатель максимальной неоднородности);

□ ровность поверхности (визуальный контроль);

□ поперечный профиль земляного полотна (измеряют ширину земляного полотна, расстояние между осью земляного полотна и бровкой, поперечный уклон, крутизну откоса). Проверку выполняют нивелированием и мерной лентой;

□ внешний вид и соответствие проектным показателям водосточных и дренажных сооружений (размеры и продольный уклон).

При сооружении земляного полотна на болоте дополнительно определяют:

□ полноту выторфовывания (относительное содержание органического вещества в основании корыта после выемки торфа);

□ скорость возведения насыпи (по датам отсыпки слоев);

□ величину осадки (нивелирование осадочной марки);

□ размеры вертикальных прорезей или дрен;

□ коэффициент фильтрации песка в прорезях и дренах (производят отбор проб с последующим лабораторным определением коэффициента фильтрации на приборе СоюздорНИИ).

Отклонение полученных данных от проектных не должно превышать 10 %.

Приемочный контроль земляного полотна производится после его сооружения с оформлением соответствующего акта, без которого начало работ по строительству дорожной одежды не допускается. Различают следующие виды приемки работ:

□ приемка скрытых работ (проводится в случае, если конструктивные элементы будут частично или полностью скрыты последующими работами);

□ промежуточная приемка выполненных работ (для определения качества и объема работ, оплачиваемых заказчиком);

□ приемка в эксплуатацию (производится государственной комиссией).

Акты освидетельствования скрытых работ составляют после выполнения следующих работ:

□ снятия плодородного слоя почвы, выторфовывания, устройства уступов на косогорах, замены грунтов, устройства свайных оснований под насыпями, устройства гидро- и теплоизоляционных слоев; укладки армирующих элементов, слоев текстильных материалов;

□ устройства водоотвода и дренажей, укрепления русел у водопропускных сооружений;

□ возведения и уплотнения земляного полотна и подготовки его поверхности для устройства дорожной одежды;

□ засева трав на откосах;

□ восстановления плодородного слоя почвы при рекультивации.

До предъявления земляного полотна к сдаче-приемке производят приемку водоотвода, дренажей, подпорных стенок, противооползневых сооружений.

Земляное полотно подлежит промежуточной приемке в общем процессе строительства автомобильной дороги. Приемочный контроль включает:

□ освидетельствование: визуальное, документации скрытых работ, производственного контроля, результатов лабораторных испы-

таний, ведомостей оползневых участков, наблюдений за осадкой земляного полотна на слабых грунтах;

□ контрольные замеры.

Вместе с приемкой земляного полотна составляются акты о приемке резервов и карьеров после рекультивации.



### 17.3. Статистическая обработка

При полевом определении плотностей грунта, влажности, лабораторном определении прочностных характеристик грунта, укрепленного вяжущими материалами, могут иметь место случайные величины, оказывающие влияние на получение достоверного результата. Чтобы этого не допустить, необходимо прежде всего определить количество образцов или измерений, обработка которых позволит получить достоверный результат, на основании которого принимается решение о корректировании технологического процесса. При освидетельствовании результатов измерений или лабораторных испытаний во время приемочного контроля необходимо обращать внимание на результаты статистической обработки данных, полученных во время входного и операционного контроля.

В основу статистических методов положены методы теории вероятности и математической статистики. В теории вероятности случайной считают такую величину, численное значение которой неизвестно и не может быть предсказано, так как зависит от случайных событий. Для автомобильной дороги случайными величинами являются прочность, ровность, сцепные качества. Статистическая обработка результатов, полученных при контроле параметров, заключается в определении среднеарифметического значения, среднего квадратичного отклонения, коэффициента вариации, средней ошибки, показателя точности.

Среднеарифметическое значение рассматриваемых случайных величин определяют из выражения

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

где  $X_i$  — результаты, полученные при испытании образцов;  $n$  — число наблюдений.

Среднее квадратичное отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}.$$

Коэффициент вариации, характеризующий изменчивость рассматриваемого признака, определяют по формуле

$$C_v = \frac{100\sigma}{\bar{X}}.$$

Ошибку среднеарифметического значения полученной величины находят из выражения

$$m = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}},$$

где  $t$  — гарантийный коэффициент, определяемый по интегралу вероятности Лапласа (при  $t = 1$  значение будет подтверждено в 683 случаях из 1000, при  $t = 1,3$  — в 800 случаях, при  $t = 2$  — в 995 случаях);

Показатель точности вычисляют по формуле

$$P = \frac{100m}{\bar{X}}.$$

Опыт считается точным при  $P \leq 2$  %, удовлетворительным — при  $2 < P \leq 5$  %, неудовлетворительным — при  $P > 5$  %.

В зависимости от полученного результата измерения показателя точности, проведенный эксперимент или измерение считается удовлетворительным или неудовлетворительным, требующим дополнительных испытаний или измерений.

Число измерений или минимальное количество изготавливаемых образцов, необходимое для получения достоверного результата, определяют из выражения

$$n \geq \frac{100t}{P} \frac{\sigma}{\bar{X}}.$$

Кроме статистических характеристик исследуемых величин, необходимо устанавливать форму связи этих величин между собой: плотности грунта — от влажности, прочности — от содержания

вяжущего вещества, коэффициента уплотнения грунта — от толщины слоя и числа проходов катка. Графическое изображение этих зависимостей может иметь вид прямой (изменения одной величины прямо пропорциональны изменениям другой величины), параболы, логарифмической кривой и т.д. Для установления этих зависимостей применяют методы математической статистики.

## 17.4. Измерение показателей состава и состояния грунта при контроле качества



Для определения крупности частиц необходимо произвести отбор средней пробы, а затем в лабораторных условиях разделить грунт на фракции. Отбор средней пробы производят методами *вычерпывания* или *квартования*.

Физические характеристики грунтов определяют в соответствии с ГОСТ 5180–84. В зависимости от поставленной цели по определению наименьшей частицы грунта применяют методы для определения *зернового состава грунта*:

□ ситовой без промывки — для определения гравелистых и песчаных частиц от 10 до 0,5 мм (рис. 17.2, а);

□ ситовой с промывкой — гравелистые и песчаные частицы от 10 до 0,1 мм;

□ Сабанина А.Н. — песчаные и пылеватые частицы от 2 до 0,01 мм и менее 0,01 мм (рис. 17.2, б);

□ пипеточный — пылеватые и глинистые частицы от 0,05 до 0,001 мм и менее 0,001 мм (рис. 17.2, в).

*Плотность дисперсного грунта* определяют методом режущего кольца (рис. 17.3, а). Параметры кольца зависят от вида исследуемого грунта (табл. 17.1).

Таблица 17.1

Параметры режущего кольца-пробоотборника

Наименование грунта	Толщина стенки, мм	Внутренний диаметр $d$ , мм	Высота кольца $h$ , мм	Угол заточки наружного края
Пылевато-глинистый	1,5...2,0	$\geq 50$	$0,8d \geq h > 0,3d$	Не более $30^\circ$
Песчаный	2,0...4,0	$\geq 70$	$d \geq h > 0,3d$	Не более $30^\circ$

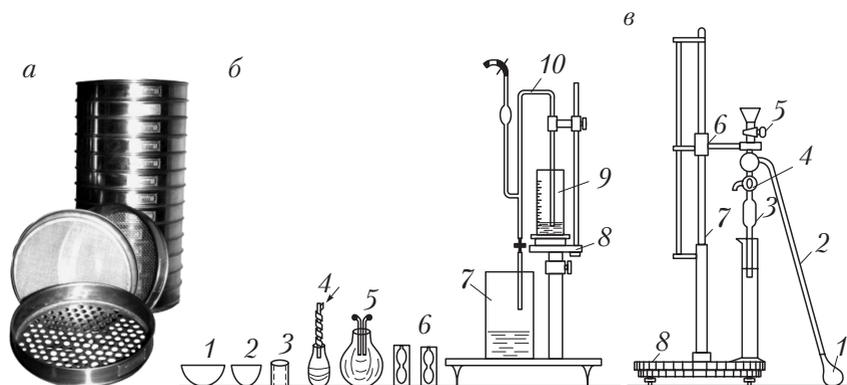


Рис. 17.2. Приборы для определения состава грунта:

*a* – набор сит; *б* – набор оборудования для метода А.Н. Сабанина (1, 2 – фарфоровые чашки; 3 – набор сит; 4 – колба с обратным холодильником; 5 – промывалка; 6 – песчаные часы на 120 и 30 с; 7 – сосуд емкостью 5 л; 8 – штатив; 9 – градуированный стакан; 10 – равновеликий сифон); *в* – установка для пипеточного метода (1 – груша; 2 – резиновая трубка; 3 – цилиндрическое утолщение пипетки; 4 – кран пипетки М.И. Захарьева; 5 – кран для набора суспензии; 6 – держатель; 7 – металлический стержень; 8 – опора)



Рис. 17.3. Оборудование для определения плотности грунта:  
*a* – режущие кольца; *б* – пикнометры

Количество измерений стандартными методами должно быть не менее 10 %.

*Плотность сухого грунта* определяют расчетным методом, зная плотность дисперсного грунта и влажность.

Плотность сухого и дисперсного грунта в полевых условиях можно определить с помощью прибора плотномер-влажгомера системы Н.П. Ковалева (рис. 17.4).

*Плотность частиц грунта* определяют пикнометрическим методом, удаляя пузырьки воздуха с поверхности частиц путем кипячения пробы или помещения пикнометра (рис. 17.3, б) в вакуумный шкаф.

*Максимальную плотность грунта* определяют на большом или малом приборе стандартного уплотнения (прибор СоюздорНИИ). Малый прибор применяют в том случае, если содержание частиц

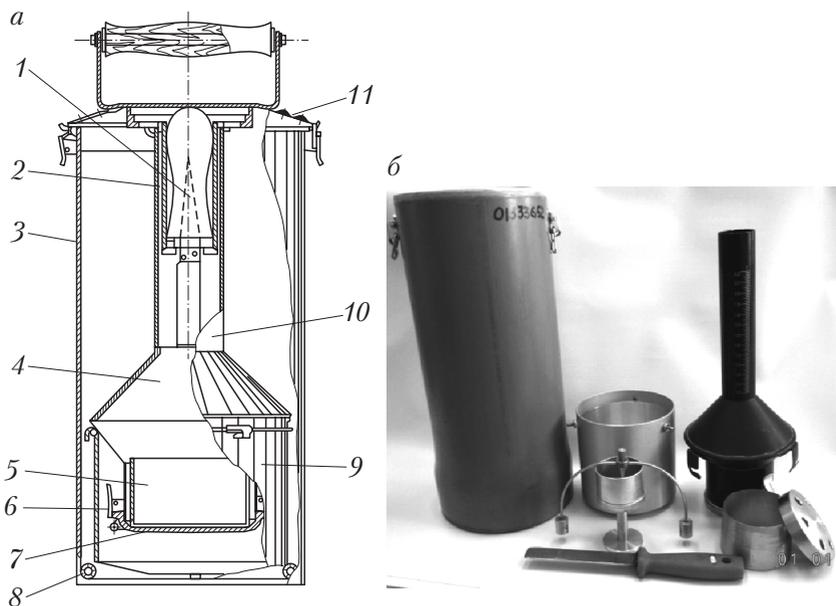


Рис. 17.4. Прибор плотномер-влажгомер системы Н.П. Ковалева:  
*а* – схема; *б* – общий вид и комплектация; 1 – нож-шпатель; 2 – приспособление для отбора пробы; 3 – футляр-ведро; 4 – поплавок; 5 – режущее кольцо; 6 – замки поплавка; 7 – нижняя крышка; 8 – резиновый шланг; 9 – сосуд; 10 – трубка со шкалами; 11 – крышка

крупнее 5 мм составляет менее 10 %; если это содержание превышает 10 %, то используют большой прибор стандартного уплотнения (рис. 17.5).

Во многих странах для определения максимальной плотности применяют метод AASHTO (American Association of State Highway Officials – Американская ассоциация государственных служащих автомобильных дорог), который отличается от метода СоюздорНИИ размерами прибора (диаметр наковальни равен половине внутреннего диаметра разъемного цилиндра) (рис. 17.6).

В полевых условиях плотность грунта может быть определена с помощью гамма-плотномера, а также плотномеров пенетрационного статического или динамического действия.

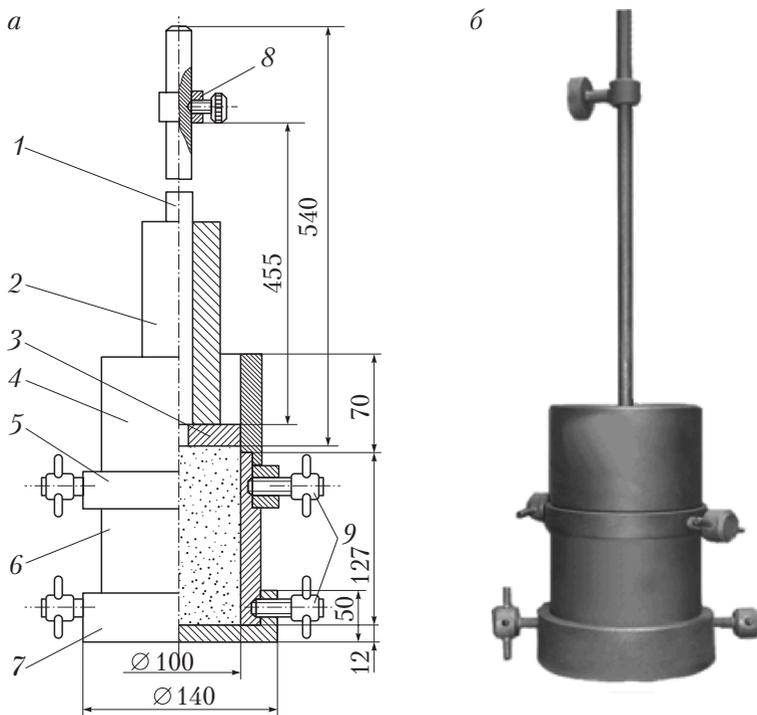


Рис. 17.5. Большой прибор стандартного уплотнения:  
*а* – схема; *б* – общий вид; 1 – направляющий стержень; 2 – груз; 3 – наковальня; 4 – насадка; 5 – кольцо; 6 – разъемный цилиндр; 7 – поддон; 8 – ограничительное кольцо; 9 – зажимные винты

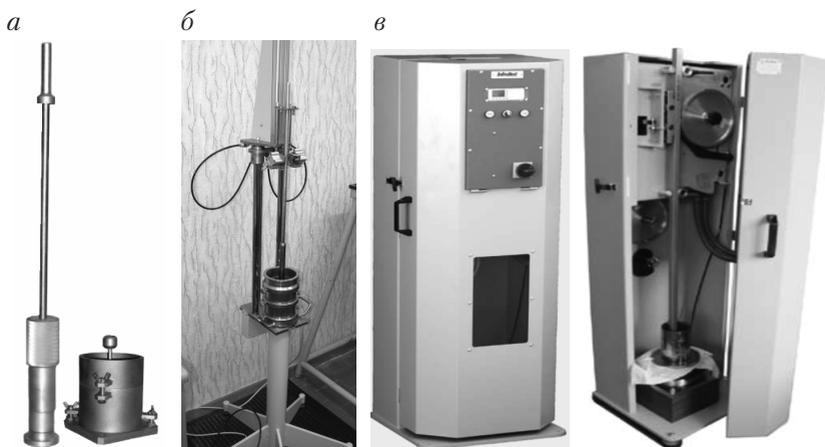


Рис. 17.6. Оборудование для метода AASHTO:  
*a* – ручной прибор; *б* – автоматизированный прибор; *в* – прибор с программным управлением

На основании плотности сухого грунта и максимальной плотности рассчитывают показатели уплотнения грунтов в дорожном строительстве: требуемый коэффициент уплотнения, коэффициент фактического уплотнения, коэффициент относительного уплотнения.

*Влажность грунта* определяют весовым методом (рис. 17.7), произведя отбор пробы в бюксе с последующим высушиванием в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы в течение:

- 3 ч до первого взвешивания и 1 ч при последующих взвешиваниях – для песчаного грунта;
- 5 ч и 2 ч соответственно для пылеватоглинистых грунтов.

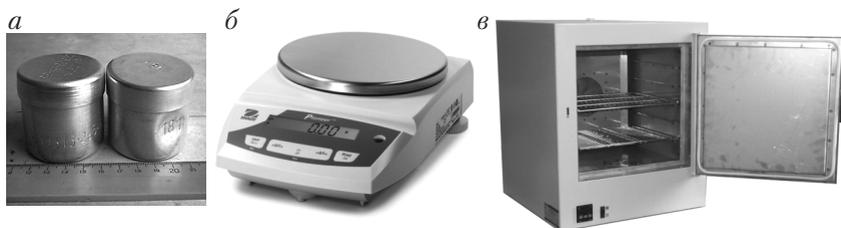


Рис. 17.7. Оборудование для определения влажности грунта:  
*a* – бюксы; *б* – весы; *в* – сушильный шкаф

Этим же методом могут быть определены влажности: естественная, гигроскопическая, оптимальная, на пределе усадки, набухания, на границах текучести и раскатывания.

В полевых условиях или при экспериментальных исследованиях, когда необходимо определить распределение влажности грунта по глубине без разрушения дорожной конструкции, применяют переносные влагомеры (рис. 17.8). Принцип действия таких приборов основан на измерении диэлектрической проницаемости среды. Рабочим инструментом является угольный или трехстержневый электрод, который закапывается в грунт с выводом на поверхность соединительных проводов или вдавливается в слой грунта.

В СТБ 943–2007 влажность крупнообломочных и песчаных грунтов характеризуется степенью влажности, представляющей собой отношение естественной влажности к полной влагоемкости, которую определяют методом полного водонасыщения грунта в латунном цилиндре. Одним из способов определения максимальной молекулярной влагоемкости является метод центрифугирования (рис. 17.9, а).

Грунты земляного полотна могут характеризоваться коэффициентом переувлажнения, представляющим собой отношение влажности переувлажненного грунта к его оптимальной влажности.

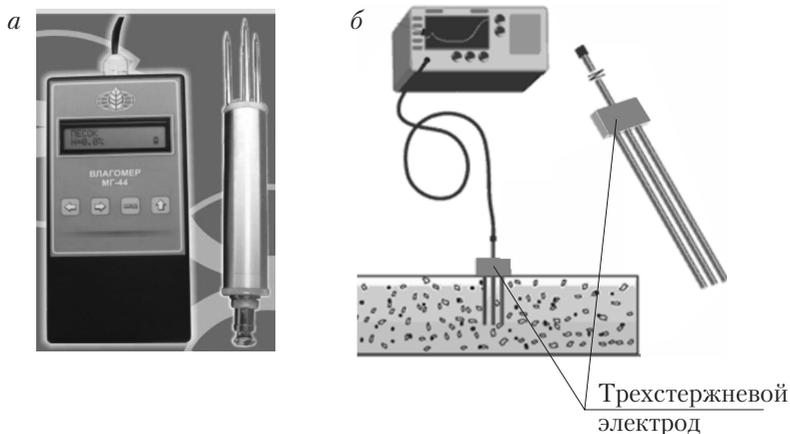


Рис. 17.8. Влагомеры:

а — МГ-44; б — прибор для определения влажности путем измерения диэлектрической проницаемости



Рис. 17.9. Приборы для определения характерных влажностей:  
а — центрифуга; б — балансирующий конус А.М. Васильева; в — прибор ПНВ

Оптимальная влажность, характерная для максимальной плотности грунта, определяется в лабораторных условиях с помощью прибора стандартного уплотнения. По результатам измерений на этом приборе строят график зависимости плотности сухого грунта от влажности, по которому и определяют максимальную плотность и оптимальную влажность.

Для оценки состава и состояния пылевато-глинистых грунтов необходимо знать число пластичности и консистенцию грунта, которые рассчитываются по характерным влажностям: на границе текучести (прибор — балансирующий конус А.М. Васильева, рис. 17.9, б) и на границе раскатывания.

Плотномер-влажномер системы Н.П. Ковалева укомплектован балансирующим конусом А.М. Васильева, на котором определяют состояние грунта, характеризующееся влажностью на границе текучести. Поэтому такое состояние можно получить и в полевых условиях, а при наличии переносного портативного сушильного шкафа определить и характерную влажность.

Для определения величины относительного набухания грунта при насыщении водой применяют прибор ПНВ (рис. 17.9, в).

Определение фильтрационных свойств грунтов выполняют в соответствии с ГОСТ 25584–90 с помощью прибора для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов (рис. 17.10).

При снятии растительного слоя грунта, а также при выторфовывании необходимо произвести оценку *содержания органического вещества (почвы) в грунте*, что делается либо визуально, либо инструментально в лабораторных условиях микроскопическим, весовым,

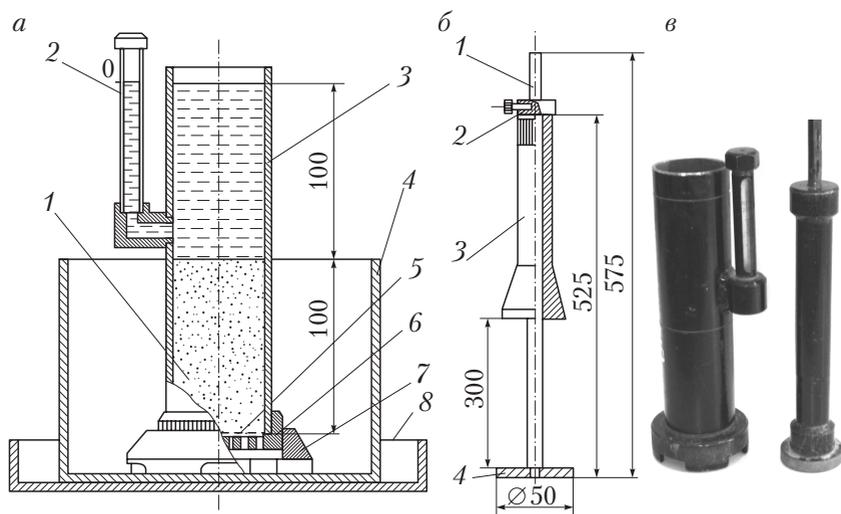


Рис. 17.10. Прибор для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов:

*a* — схема фильтрационного прибора (1 — песчаный грунт; 2 — пьезометр; 3 — фильтрационная трубка; 4 — стакан; 5 — латунная сетка; 6 — днище с отверстиями; 7 — подставка; 8 — поддон); *б* — трамбовка (1 — стержень; 2 — фиксатор; 3 — груз; 4 — наковальня); *в* — общий вид прибора с трамбовкой

термическим (по зольности торфа) методами. В СТБ 943–2007 этот показатель выражается через относительное содержание органического вещества, представляющее собой отношение органической части грунта к первоначальной навеске.

Отнесение грунта к слабым может осуществляться как в полевых условиях путем определения сопротивления грунта сдвигу по крыльчатке в условиях природного залегания с помощью сдвигомера-крыльчатки (рис. 17.11) (сопротивление на сдвиг менее 0,075 МПа), так и в лабораторных условиях на компрессионном приборе при определении модуля осадки (более 50 мм/м) или модуля деформации (менее 5,0 МПа).

Прочностные характеристики грунта земляного полотна оценивают удельным сопротивлением грунта под наконечником (конусом) зонда или условным динамическим сопротивлением, которые определяют методами статического или динамического зондирования, основанными на непрерывном вдавливании или забивке

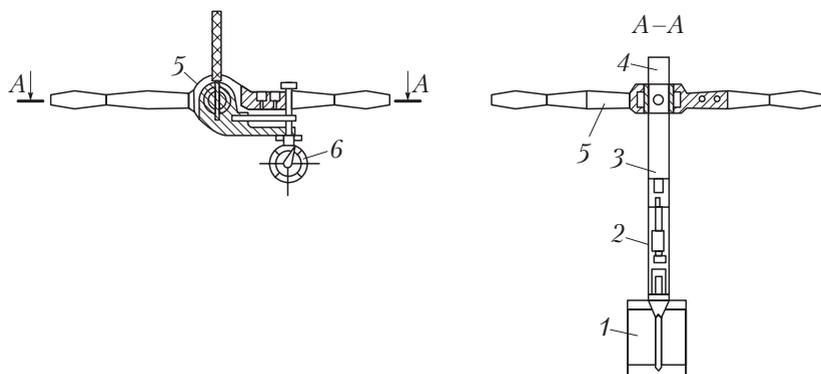


Рис. 17.11. Сдвигомер-крыльчатка:

1 — крыльчатка; 2 — устройство для учета трения штанг; 3, 4 — штанги, соединенные резьбовыми переходниками; 5 — измерительная головка с рукояткой; 6 — индикатор часового типа

зонда падающим молотом. По значениям удельного сопротивления грунта под конусом зонда определяют вид грунта, а также его сцепление, угол внутреннего трения, модуль деформации.

Определение *относительной деформации* для вычисления модуля деформации и модуля осадки производят на компрессионных приборах (рис. 17.12).

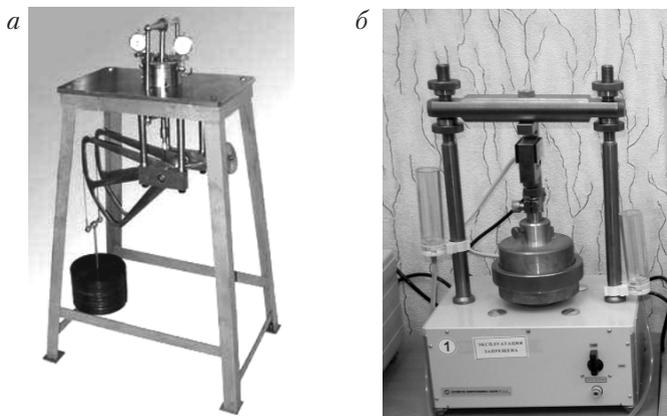


Рис. 17.12. Компрессионные приборы:

а — компрессионный прибор КИР-1; б — устройство компрессионного сжатия П1

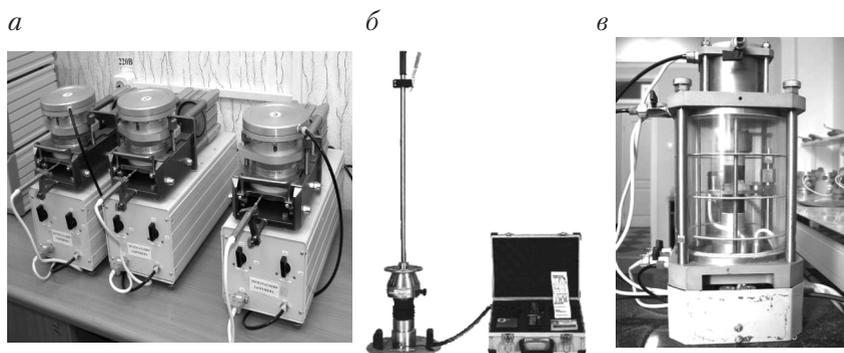


Рис. 17.13. Приборы для измерения прочностных характеристик грунтов: *а* – прибор одноплоскостного среза; *б* – прибор для измерения модуля упругости ZFG-2000; *в* – стабилометр

Прочностные результаты, такие как сопротивление грунта сдвигу, модуль упругости, сопротивление трехосному сжатию, могут быть измерены как в лабораторных, так и в полевых условиях с помощью прибора одноплоскостного среза, прибора для измерения модуля упругости, стабилометра (рис. 17.13).

## 17.5. Организация производственного контроля



Производственный контроль выполняется исполнителем работ (ответственный – главный инженер) с привлечением:

- лаборатории (ответственный – руководитель лаборатории);
- службы контроля качества (ответственный – руководитель службы контроля);
- геодезической службы (ответственный – руководитель геодезической службы).

При входном контроле выборочная проверка резервов, обследование оснований, оценка устойчивости и т.п. осуществляются производственной лабораторией. Пробное уплотнение выполняется производственной лабораторией с участием представителя технического надзора.

Операционный контроль проводится в соответствии с положениями, изложенными в соответствующих схемах, входящих в состав технологической карты или проекта производства работ, и осуществляется мастерами с участием производственных лабораторий и геодезических служб. Схема операционного контроля содержит:

□ эскиз земляного полотна с указанием способов разбивки, допускаемых отклонений, требуемой точности измерений;

□ ведомость применяемых грунтов с указанием: вида и разновидности, оптимальной влажности, максимальной стандартной плотности грунтов; допускаемых отклонений коэффициентов уплотнения; требуемой толщины слоев; числа проходов катка;

□ перечень контрольных операций, выполняемых прорабом, мастером, лабораторией, геодезической службой;

□ перечень скрытых работ, подлежащих освидетельствованию с составлением акта.

Качество выполнения отдельных видов работ оценивают баллами:

□ «отлично» (5), если технические показатели превосходят показатели, требуемые нормативными документами и стандартами;

□ «хорошо» (4), если работы выполнены в полном соответствии с проектом;

□ «удовлетворительно» (3), если работы выполнены с мало-значительными отклонениями от технической документации.

Комплексную оценку качества подготовительных работ, возведения земляного полотна, строительства оснований и покрытий, искусственных сооружений осуществляют в баллах по результатам оценки качества выполнения отдельных видов работ по формуле

$$S_i = \frac{5P_5 + 4P_4 + 3P_3}{P_5 + P_4 + P_3},$$

где  $P_5, P_4, P_3$  — число видов работ, получивших балл соответственно 5, 4 и 3.

По значению  $S_i$  определяют комплексную оценку качества:

□ «отлично» —  $4,51 \leq S_i \leq 5,0$ ;

□ «хорошо» —  $3,51 \leq S_i \leq 4,50$ ;

□ «удовлетворительно» —  $3,0 \leq S_i \leq 3,50$ .

Качество построенной автомобильной дороги или ее участка в баллах определяется из выражения

$$S_{\text{ср}} = \frac{a_1 S_1 + a_2 S_2 + a_3 S_3 + a_4 S_4 + a_5 S_5 + a_6 S_6 + a_7 S_7}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7} \pm P_э,$$

где  $S_1$  — оценка качества подготовительных работ;  $S_2$  — строительства земляного полотна;  $S_3$  — основания дорожной одежды;  $S_4$  — покрытия;  $S_5$  — искусственных сооружений;  $S_6$  — обстановки дороги;  $S_7$  — зданий и сооружений, входящих в комплекс автомобильной дороги;  $a_1, \dots, a_7$  — соответствующие коэффициенты значимости с учетом вида работ и конструктивного элемента ( $a_1 = 0,5$ ;  $a_2 = 1,0$ ;  $a_3 = 0,9$ ;  $a_4 = 1,0$ ;  $a_5 = 0,9$ ;  $a_6 = 0,7$ ;  $a_7 = 0,6$ );  $P_э$  — показатель эстетичности, устанавливаемый в зависимости от качества отделочных работ и внешнего вида дороги в интервале от 0,1 до 0,3.

По значению  $S_{\text{ср}}$  определяют итоговую оценку качества:

- «отлично» —  $4,51 \leq S_{\text{ср}} \leq 5,0$ ;
- «хорошо» —  $3,76 \leq S_{\text{ср}} \leq 4,50$ ;
- «удовлетворительно» —  $3,0 \leq S_{\text{ср}} \leq 3,75$ .

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ



### 18.1. Методы расчета

---

Откосы земляных сооружений являются самыми уязвимыми местами дорожной конструкции, поскольку они испытывают различные воздействия погодно-климатических факторов, особенно подвержены размываемости инфильтрационными водами, а также промерзанию при отсутствии снежного покрова. Откосы насыпей могут быть подтопляемые и неподтопляемые. Откосы выемок по степени обводненности подземными водами могут быть сухими, мокрыми и обводненными.

Основной геотехнической задачей при проектировании высоких насыпей и глубоких выемок является оценка и обеспечение устойчивости откосов. Для решения этой задачи необходимо:

- выбрать метод расчета для проверки устойчивости откоса;
- провести расчеты по выбранному методу и определить коэффициент устойчивости;
- сопоставить полученное значение коэффициента устойчивости с требуемыми значениями и сделать заключение о достаточной или недостаточной степени устойчивости;
- при недостаточной устойчивости выбрать мероприятия по повышению устойчивости откоса (табл. 18.1).

*Берма* — грунтовая полоса шириной 2...3 м, имеющая уклон в сторону общего склона откоса, устраиваемая параллельно проезжей части дороги на поверхности высокого откоса или глубокой

выемки и предназначенная для повышения устойчивости откоса, предохранения его поверхности от размыва и прохода техники при содержании или ремонте поверхности откоса.

Таблица 18.1

**Мероприятия по повышению устойчивости откосов и склонов**

№ п/п	Мероприятия	Механизм проявления эффекта
1	Уполаживание откоса	Уменьшение напряженного состояния
2	Устройство разгрузочных берм на насыпях	
3	Устройство контрбанкетов на выемках	
4	Снижение высоты откоса	
5	Использование в откосе легких материалов	
6	Защита от насыщения грунта водой с поверхности	
7	Дренажирование для снижения силового воздействия подземных вод	
8	Дренажирование с целью снижения влажности грунта	Повышение сдвиговых характеристик
9	Защита от проникания воды в грунт откоса	
10	Использование в насыпи грунтов с повышенными значениями $\phi$ и $C_w^*$	
11	Укрепление грунта откосов: <ul style="list-style-type: none"> <li>• биологической защитой;</li> <li>• сборными решетчатыми конструкциями;</li> <li>• бетонными, железобетонными и асфальтобетонными конструкциями;</li> <li>• монолитными конструкциями</li> </ul>	Защита поверхности откоса
12	Устройство подпорных стенок	Уменьшение высоты откоса

\*  $\phi$  — угол внутреннего трения;  $C_w$  — сцепление.

*Банкет* — сооружение правильной формы трапецевидного или треугольного сечения из грунта, отсыпаемого вдоль верхней бровки выемки для ограждения и защиты ее откосов от размыва поверхностными водами.

*Контрбанкет* — инженерное сооружение из камня или грунта, устраиваемое в виде присыпки к насыпи взамен подпорных стенок. Сооружают на особо крутых косогорах у подошвы насыпей или полунасыпей-полувыемок в целях их укрепления или борьбы с выпором основания.

В настоящее время существуют разнообразные методы расчета, от компьютерных до номограмм, основанные на одном из общепринятых методов.

Наиболее распространенным методом оценки устойчивости склонов является *метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС)*, основанный на том, что смещение одной части грунтового массива относительно неподвижной происходит по кривой поверхности, имеющей очертание, близкое к круглоцилиндрическому. В этом методе принято допущение, что обрушение откоса происходит со срезом и вращением по некоторой кривой скольжения вокруг ее центра. На этом же принципе основан *метод Маслова Н.Н.*, который является проверочным и служит для оценки устойчивости существующего и проектируемого откоса, а также графоаналитический *метод Шахунянца Г.М.*, в котором принята гипотеза «затвердевшего клина», заключающаяся в том, что массив смещается как единое целое.

По *методу Гольдштейна М.Н.* определяют предельно допустимую высоту откоса определенной крутизны и заданного коэффициента устойчивости.

*Методом номограмм* определяют координаты центра наиболее опасной кривой скольжения, а также объем грунта призмы обрушения и длину кривой скольжения при различной крутизне откоса. Аналогичные задачи решают с использованием *графика Тейлора Д.* и *номограммы Алаторцева Е.К.*

*Метод Маслова–Берера (метод горизонтальных сил, или метод плоских поверхностей скольжения — ППС)* применяется для слоистого грунта, в котором сдвиг происходит по некоторой ломаной линии в результате различного сопротивления сдвигу грунта данных слоев.

*Метод устойчивого откоса (метод  $F_p$ )* основан на допущении равенства углов откоса и сопротивления сдвигу, что позволяет построить профиль устойчивого откоса, находящегося в состоянии предельного равновесия. Это же состояние предельного равновесия лежит в основе *метода Соколовского В.В.*, по которому определяют равноустойчивый откос при различных углах внутреннего трения и углах наклона откоса к горизонту, и графоаналитический *метод Троицкой М.Н.*, по которому выполняют построение линии, ограничивающей устойчивый откос.

При расчете проектируемых насыпей или выемок необходимо обеспечить определенное значение коэффициента устойчивости, величина которого зависит от применяемого метода расчета (табл. 18.2).

Таблица 18.2

### Наименьшие требуемые значения коэффициента устойчивости

Инженерно-геологические условия	Метод расчета	
	Метод КЦПС	Метод ППС
Однородный сухой откос, сложенный песчаными грунтами при прочном основании	1,2	—
Прочие случаи	1,3	1,3

Для насыпей разрешается без ограничений применять грунты и отходы промышленности, незначительно меняющие прочность и устойчивость под воздействием погодно-климатических факторов (ТКП 45-3.03-19–2006). Крутизну откосов насыпей назначают в зависимости от высоты насыпи или глубины выемки и вида грунта (табл. 18.3).

Таблица 18.3

### Наибольшая крутизна откосов

Грунты насыпи	Высота откоса насыпи, м		
	до 6	до 12	
		в нижней части — до 6	в верхней части — от 6 до 12
Крупнообломочные грунты, пески крупные, средней крупности	1:1,5	1:1,5	1:1,5
Пески мелкие, пылеватые	1:1,5	1:2	1:1,5
Глинистые грунты	1:1,75	1:2	1:1,75

## 18.2. Оценка устойчивости откоса, сложенного из однородного грунта



Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения описывает сложный вид деформации грунтового массива, характеризующийся срезом с вращением. Нарушение устойчивости в данном

случае связано со сдвигом — срезом и перемещением некоторой части грунта по поверхности скольжения.

Оценка устойчивости грунтовых массивов против сдвига сводится к определению коэффициента устойчивости, характеризующего отношение моментов сил, удерживающих оползающую часть массива, к моменту сдвигающих сил. В общем виде коэффициент устойчивости откоса определяют из выражения

$$K_y = \frac{\sum P_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_w + C_w L}{\sum P_i x_i} R,$$

где  $\sum P_i$  — общий вес блоков, кН;  $\operatorname{tg} \varphi_w$  — коэффициент внутреннего трения ( $\varphi_w$  — угол внутреннего трения, град);  $C_w$  — сцепление грунта, кН/м<sup>2</sup>;  $L$  — длина кривой скольжения, м;  $x_i$  — плечо блока, равное отрезку от средней линии блока до вертикальной оси  $Y$ , м;  $\sum P_i x_i$  — сумма сдвигающих моментов, кН · м;  $R$  — радиус кривой скольжения, м.

Полученное значение сравнивают с требуемым коэффициентом устойчивости (см. табл. 18.2). Если вычисленный коэффициент равен или больше 1,3, то откос считается устойчивым, если меньше — неустойчивым. Для неустойчивых откосов выбирают мероприятие, повышающее устойчивость земляного сооружения за счет уменьшения напряжений, увеличения сдвиговых характеристик, защиты поверхности откоса, уменьшения высоты или ликвидации откоса за счет устройства подпорной стенки (см. табл. 18.1).

Поверхностные и грунтовые воды понижают прочностные свойства грунтов и способствуют снижению устойчивости склонов и откосов, вызывая тем самым оползневые явления.

Гидростатическое взвешивание по-разному проявляется для сыпучих (зернистых) и глинистых грунтов. Для глинистых грунтов это явление оказывается более сложным, чем для песков, ввиду того что пылевато-глинистые грунты могут находиться в различной консистенции и начальный градиент напора препятствует проникновению гравитационной воды.

В подтопленной водой насыпи трение и сцепление у водонасыщенного грунта меньше, чем у сухого, поэтому устойчивость части грунта, расположенного ниже поверхности депрессии, может значительно понизиться. При расчете подтопленной насыпи счи-

тается, что грунт выше горизонта вод находится в сухом состоянии, а ниже — в водонасыщенном. Это отражается на удельном весе, применяемом для определения веса грунта, поэтому земляное плотно необходимо рассматривать как сооружение, состоящее из двух массивов: одного, расположенного выше уровня затопления насыпи, и второго — ниже. Исходя из этого определяют два объема блока, каждый из которых умножают на удельный вес: нижний блок — взвешенного в воде грунта, верхний — сухого грунта. Дальнейший ход вычислений выполняется аналогично определению коэффициента устойчивости по методу КЦПС без дополнительных силовых воздействий.

Подобный режим работы откоса может иметь место в выемках, когда нарушаются естественные гидрогеологические условия. В насыпях долин, затопляемых во время половодья, когда уровень воды при разливе реки доходит до своего максимума, а затем постепенно начинает снижаться, возникает режим фильтрационного давления. При наличии в откосе водонасыщенных слоев, по которым происходит движение грунтовых вод, в расчете необходимо учитывать гидродинамическое (фильтрационное) давление через фиктивный угол трения. Отношение коэффициента фиктивного угла трения к коэффициенту угла внутреннего трения при естественной влажности равно отношению удельного веса грунта, взвешенного в воде, к удельному весу грунта. Фиктивный коэффициент внутреннего трения определяют из выражения

$$\operatorname{tg} \varphi_{\phi} = B \operatorname{tg} \varphi_w,$$

где  $B$  — коэффициент, учитывающий отношение удельного веса грунта к удельному весу, измеренному во взвешенном состоянии:

$$B = \frac{a + \frac{b}{2} + \frac{c}{2} + \frac{d}{2}}{a + b + \frac{c}{2} + \frac{d}{2}},$$

где  $a$  — зона сухого грунта, лежащая выше кривой депрессии;  $b$  — зона фильтрации, лежащая между кривой депрессии и уровнем ГВ;  $c$  — зона затопления, лежащая между уровнем ГВ и подошвой откоса;  $d$  — зона застоя, лежащая ниже подошвы откоса (рис. 18.1).



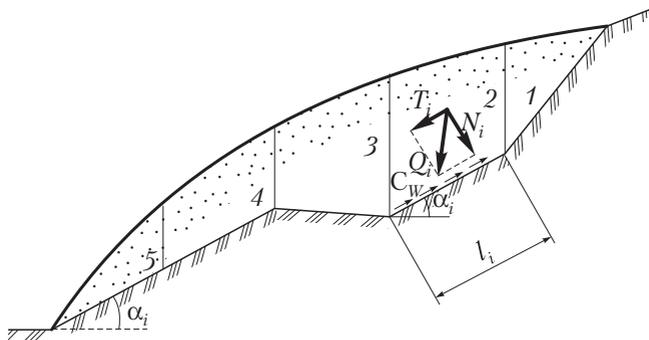


Рис. 18.2. Расчетная схема к определению устойчивости склона методом ППС:

1, ..., 5 — номера расчетных блоков;  $N_i$  — удерживающая сила;  $T_i$  — сдвигающая сила;  $Q_i$  — вес расчетного блока грунта;  $\alpha_i$  — угол наклона плоскости сдвига к горизонтальной проекции;  $l_i$  — длина плоскости сдвига в пределах блока;  $C_w$  — удельное сцепление грунта

(ППС) применяется в тех случаях, когда склон или откос сложен из слоев разнородного грунта. В условиях плоской задачи поверхность скольжения заменяют совокупностью прямых линий. При этом сдвиговые деформации грунта происходят по ломаной поверхности скольжения (рис. 18.2).

Коэффициент устойчивости по методу ППС определяют из выражения

$$K_y = \frac{\sum P_i [\operatorname{tg} \alpha_i - \operatorname{tg}(\alpha_i - \psi_{P_i})]}{\sum P_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i},$$

где  $P_i$  — вес блока, кН;  $\alpha_i$  — угол наклона поверхности скольжения в пределах блока;  $\psi_{P_i}$  — угол сдвига:

$$\psi_{P_i} = \arctg \left( \operatorname{tg} \varphi_i + \frac{C_w l_i}{P_i} \right),$$

где  $\varphi_i$  — угол внутреннего трения для грунта расчетного слоя;  $\operatorname{tg} \varphi_i$  — коэффициент внутреннего трения для грунта расчетного слоя;  $C_w$  — сцепление, кН/м<sup>2</sup>;  $l_i$  — длина участка поверхности скольжения в пределах блока, м.

Наличие в откосе фильтрационного давления оказывает дополнительное силовое воздействие на оползающие массы грунта.

Величину этого давления в каждом блоке определяют из выражения

$$W_{\phi} = \gamma_w J V,$$

где  $\gamma_w$  — удельный вес воды, кН/м<sup>3</sup>;  $J$  — гидравлический градиент напора;  $V$  — объем блока, м<sup>3</sup>.

Направление линии действия фильтрационной силы в пределах каждого блока принимают параллельным кривой депрессии.

Коэффициент устойчивости откоса или склона, при учете фильтрационного давления, определяют выражением

$$K_y = \frac{\sum P_i [\operatorname{tg} \alpha_i - \operatorname{tg}(\alpha_i - \psi_{P_i})]}{\sum (P_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i + W_{\phi} \cos \beta)},$$

где  $\beta$  — угол, образуемый кривой депрессии с горизонтальной плоскостью в пределах каждого блока.

## 18.4. Определение рационального очертания поверхности откоса



Рациональное очертание поверхности откоса определяют по условию равноустойчивости (метод  $F_p$ ). Степень соблюдения принципа равноустойчивости для различных участков откоса по высоте оценивают по значению коэффициента запаса:

$$K_{\text{зап}} = \frac{\operatorname{tg} \varphi + \frac{C_w}{\rho_{\text{ср}} \cdot z}}{\operatorname{tg} \alpha},$$

где  $\varphi$  — угол внутреннего трения на данном горизонте, град;  $C_w$  — удельное сцепление грунта на данном горизонте, МПа;  $\rho_{\text{ср}}$  — средняя плотность грунта, т/м<sup>3</sup>;  $z$  — глубина данного горизонта, считая от верха откоса, м;  $\alpha$  — угол наклона поверхности откоса к горизонтали на уровне данного горизонта, град.

Учитывая, что произведение плотности грунта и мощности слоя есть величина давления на подошве слоя грунта

$$P = \rho_{\text{ср}} z,$$

то угол устойчивого откоса можно определить из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{K_{\text{зап}}} \left( \operatorname{tg} \varphi + \frac{C_W}{P} \right).$$

Выражение в скобках соответствует углу сдвига, который может быть определен для каждого слоя грунтового массива:

$$\operatorname{tg} \Psi = \operatorname{tg} \varphi + \frac{C_W}{P}.$$

Учитывая, что в методе  $F_p$  принято допущение о равенстве углов откоса и сопротивления сдвигу, выполняют построение равноустойчивого откоса графическим методом (рис. 18.3).

Таким образом, на основании характеристик грунта для каждого слоя и вычисленных углов сдвига методом горизонтальных сил определяют коэффициент запаса, характеризующий степень устойчивости откоса.

Согласно рис. 18.3 профиль откоса имеет криволинейное очертание. При отсыпке насыпи или разработке выемки профиль откоса устраивают прямолинейным или ломаным при высоте более 6 м с точкой перелома на расстоянии 6 м от подошвы откоса. Полученный криволинейный профиль сглаживают путем уменьшения углов наклона отдельных участков.

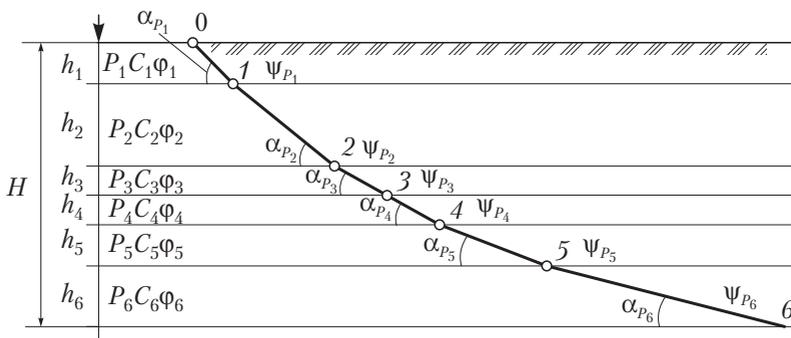


Рис. 18.3. Построение равноустойчивого откоса по методу  $F_p$   
 $h_1, \dots, h_6$  — толщина слоев;  $P_1, \dots, P_6$  — вес блоков;  $C_1, \dots, C_6$  — удельное сцепление грунта на данном горизонте;  $\varphi_1, \dots, \varphi_6$  — угол внутреннего трения на данном горизонте;  $\alpha_{P_1}, \dots, \alpha_{P_6}$  — угол наклона поверхности откоса и горизонтали на уровне данного горизонта;  $\Psi_{P_1}, \dots, \Psi_{P_6}$  — угол сдвига для грунта данного горизонта, находящегося под давлением веса грунта  $P_1, \dots, P_6$

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПЛАНИРОВАНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ



### 19.1. Общие положения

---

**Организация дорожного строительства** — это комплекс мероприятий планирования, оперативного управления и производства работ, которые обеспечивают ритмичное выполнение дорожных работ, деятельность производственных предприятий, организацию материально-технического снабжения в соответствии с установленным сроком строительства. Организация дорожного строительства регламентируется положениями ТКП 45-1.03-161–2009 «Организация строительного производства».

Цель организации строительства автомобильной дороги заключается в своевременной сдаче в эксплуатацию объекта при качественном выполнении всех работ с затратами денежных, трудовых и материальных ресурсов, не превышающими предусмотренных проектом показателей.

Автомобильная дорога как строительный объект характеризуется распределением отдельных видов работ, направленных в одну сторону, на полосе большой протяженности. Дорожно-строительные работы подразделяются на *линейные* — занимающие широкий фронт работ, растянутый по длине строящегося участка или всей дороги, и *сосредоточенные* — ограниченные узким фронтом работ. К линейным работам относят возведение земляного полотна, строительство оснований, покрытий, устройство слоев износа и др.; к сосредоточенным — работы по строительству земляного полотна на участках с объемом земляных работ на 1 км, превышающим средний

объем земляных работ на 1 км дороги в 3 и более раза, а также участки с повышенной сложностью производства и трудоемкостью (переходы через болота, высокие насыпи и глубокие выемки, оползневые склоны, слабые грунты, строительство искусственных сооружений и др.). Для каждого из этих видов работ применяется своя организация строительства.

Организация линейных строительных работ осуществляется следующими методами:

□ *раздельным*, при котором время выполнения основных работ значительно меньше времени, затрачиваемого на развертывание и свертывание производственного процесса. Этот метод применим при строительстве небольших по протяженности участков;

□ *поточным*, при котором осуществляется непрерывное и равномерное производство дорожных строительномонтажных работ, выполняемых специализированными комплексномеханизированными подразделениями, передвигающимися в одном направлении непрерывно друг за другом по трассе строящейся дороги строго по графику и с согласованной скоростью, оставляя за собой полностью готовые участки автомобильной дороги;

□ *поточным комплексным*, при котором поток разбивается на отдельные специализированные потоки, выполняющие основные строительномонтажные работы, а также потоки, занимающиеся заготовкой и производством дорожностроительных материалов; все эти потоки объединены общей организационной структурой дорожностроительной организации;

□ *поточным некомплексным*, при котором искусственные сооружения и земляное полотно возводятся за год до устройства дорожной одежды, которую строят отдельно поточным методом, не связанным единым графиком всех работ;

□ *параллельным*, при котором дорога разбивается на отдельные участки и строится различными дорожными организациями, а чтобы работы на всех участках были закончены одновременно, длина участков назначается пропорционально производственным возможностям организаций;

□ *последовательным*, при котором дорожные работы выполняются на отдельных последовательно расположенных участках и переход с одного участка на другой производится только после завершения работ на предыдущем.

Организация сосредоточенных работ осуществляется следующими методами:

- *раздельным*, при котором каждый строительный процесс выполняется самостоятельно;
- *цикловым поточным*, при котором объект разбивается на несколько однотипных захваток и отряды или бригады переходят последовательно с одной захватки на другую, выполняя свой вид работ. В результате объект строится циклично.

Работы по сооружению земляного полотна осуществляются на основе утвержденных проекта организации строительства и проекта производства работ.

**Проект организации строительства** (ПОС) — технический документ, разрабатываемый проектной организацией одновременно с разработкой строительной части проекта. Исходными материалами для него выступают: результаты технических изысканий; решения по применению строительных материалов, конструкций и средств механизации; данные о порядке обеспечения местными материалами, водой, электроэнергией и т.п.

Целью проекта организации строительства является установление решений по организации строительства дороги в целом, а также подготовительных и основных работ. При разработке проекта в ПОС закладывают:

- прогрессивные формы и методы организации, планирования и управления строительством;
- нормативные сроки продолжительности строительства;
- прогрессивные технологические процессы, обеспечивающие высокое качество работ;
- поточный метод непрерывного и равномерного производства;
- прогрессивные и экономичные конструкции, а также применение местных материалов;
- комплексную поставку на строительство материалов, конструкций, изделий из расчета пообъектного обеспечения, в первую очередь сосредоточенных, а затем линейных работ;
- первоочередное выполнение работ подготовительного периода;
- максимальное использование машин в две смены и более, комплексную механизацию.

На основании проекта организации строительства разрабатывают **проект производства работ** (ППР), который является

руководством для производителей работ при выполнении наиболее сложных производственных процессов на строительстве земляного полотна, дорожных одежд, мостов и других сооружений.

Исходными данными для разработки ППР являются: задание на разработку проекта производства работ с объемами и сроками составления проекта; сводная смета; рабочие чертежи; сведения о сроках и порядке поставки материалов, полуфабрикатов, конструкций и изделий; количество и типы намечаемых к использованию машин; сведения об обеспечении транспортными средствами; данные о рабочих кадрах по основным профессиям. Проект производства работ уточняет и детализирует решения, принятые в проекте организации строительства.

При составлении ППР особое внимание уделяют разделам, в которых рассматриваются следующие работы:

- распределение земляных масс;
- методы работы, выбор средств механизации и комплектования отрядов с учетом состава и структуры парка машин, имеющих в строительной организации;
- расчеты потребности в трудовых и материально-технических ресурсах;
- разработка детальных календарных планов;
- применение типовых технологических карт и разработка новых на сложные виды работ, выполняемые с применением новых материалов, технологий, машин и механизмов;
- схемы операционного контроля качества;
- мероприятия по защите окружающей среды и охране труда.



## 19.2. Принципы организации земляных работ

Рациональная организация земляных работ предусматривает:

- поточный метод производства работ, обеспечивающий строгую последовательность выполнения отдельных видов работ, непрерывную готовность участков земляного полотна для устройства дорожной одежды и непрерывное использование трудовых и материально-технических ресурсов;
- прогрессивную технологию, основанную на целесообразном, для конкретных условий, распределении земляных масс и передовых способах выполнения отдельных видов земляных работ;

□ комплексную механизацию с применением выбранных на основе технико-экономического сравнения рациональных комплексов машин и отдельных средств механизации, обеспечивающую максимальное снижение затрат ручного труда и наилучшее использование машин и механизмов.

Процесс возведения земляного полотна должен быть организован без разрывов. Разрывы в возводимом земляном полотне допускаются на участках расположения искусственных сооружений или на участках с особыми грунтовыми условиями, где работы выполняются по индивидуальному проектному решению, предусматривающему технологические или сезонные перерывы (глубокие болота, неблагоприятные геологические условия, оползневые участки, глубокие выемки и т.п.). Проект организации строительства предусматривает разработку схем организации работ по возведению земляного полотна из привозного грунта (рис. 19.1), из грунта

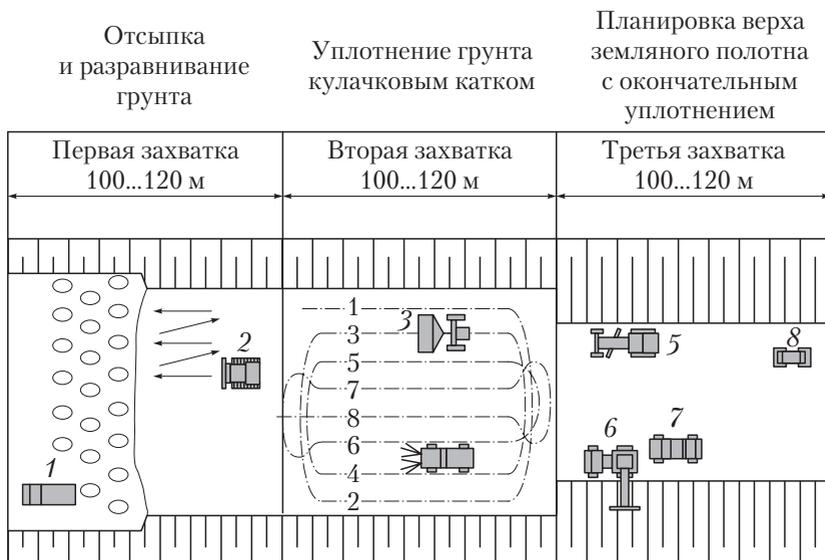


Рис. 19.1. Схема организации работ по возведению земляного полотна из привозного грунта:

1, 7 — автомобили-самосвалы; 2 — бульдозер; 3 — кулачковый каток; 4 — поливомоечная машина; 5 — автогрейдер; 6 — экскаватор-планировщик; 8 — вибрационный каток

притрассовых резервов, из выемок, которые включают перечень захваток, наименование операций, схемы движения дорожных машин.

Земляное полотно возводят с опережением (заделом) последующих работ по строительству основания и покрытия. Величину задела земляного полотна определяют в зависимости от годовых объемов устройства покрытий (табл. 19.1).

Таблица 19.1

**Величина задела (степень готовности) земляного полотна, %**

Виды земляных работ	Годовой объем устройства покрытий, км		
	до 20	от 20 до 50 включительно	свыше 50
Сосредоточенные работы (по объему)	От 25 до 75 включительно	От 50 до 100 включительно	От 75 до 100 включительно
Линейные работы (по протяженности)	От 25 до 50 включительно	От 25 до 75 включительно	От 50 до 100 включительно

На участках задела земляное полотно должно быть отсыпано до проектной отметки, поверхность его, включая откосы, спланирована, откосы укреплены, обеспечена надежная работа водоотводных сооружений.

При строительстве насыпей на слабых основаниях или в зимнее время устанавливают технологический перерыв для стабилизации грунтов земляного полотна, продолжительность которого должна соответствовать данным, приведенным в табл. 19.2.

Таблица 19.2

**Продолжительность технологического перерыва**

Высота насыпи, м	Грунты			
	песчаные		глинистые	
	Тип дорожной одежды *			
	I	II	I	II
До 2	1	1	2	2
От 2 до 4 включительно	2	2	3	3
Свыше 4 до 7 включительно	3	3	4	4
Свыше 7 до 10 включительно	4	4	5	10
Свыше 10 до 15 включительно	4	5	6	12

\* I — нежесткие, II — жесткие дорожные одежды.

К жестким дорожным одеждам относят конструкции с цементобетонным покрытием, а также с асфальтобетонным покрытием, уложенным на цементобетонное основание. К нежестким относят все остальные дорожные одежды.

При сооружении земляного полотна необходимо учитывать баланс между грунтом в насыпи и грунтом, разрабатываемым в выемке и используемым для отсыпки насыпи, а также дополнительным объемом грунта, добываемым в притрассовых или сосредоточенных резервах. При отсыпке насыпи определяют количество грунта, необходимого для сооружения земляного полотна и доставляемого из выемки или резерва. При этом необходимо учитывать, что грунт в насыпи после уплотнения занимает меньший объем, чем при естественном залегании, поэтому в расчетах применяют коэффициент относительного уплотнения (см. табл. 2.2).

После окончания технологического перерыва контролируют высотное положение насыпи и при необходимости досыпают грунт, после чего его профилируют и уплотняют.

### 19.3. Обеспечение стабильности земляного полотна



**Стабильность** земляного полотна означает его устойчивость, прочность и отсутствие любых видов деформаций под действием геологических (происходящих в основании насыпи или выемки), погодно-климатических (изменение температуры, количества выпадающих осадков), внутренних факторов (количество и состояние пылевато-глинистых частиц в грунте, из которого отсыпано земляное полотно), внешней нагрузки от колес автомобиля (доуплотнение недостаточно уплотненного грунта), которые приводят к осадке, просадке, сплывам, расползанию земляного полотна как конструкции и, как следствие, к его разрушению.

Если насыпь земляного полотна отсыпана из песчаного грунта, то устройство монолитных слоев дорожной одежды можно выполнять сразу после сооружения земляного полотна.

Насыпи высотой более 3 м из пылеватых и тяжелых разновидностей пылевато-глинистых грунтов отсыпают, как правило, за год

до устройства асфальто- и цементобетонных покрытий, а также покрытий и оснований, устраиваемых с применением вязких битумов или из материалов, укрепленных цементом.

Для участков автомобильной дороги, возводимых на болотах (с выторфовыванием или без него), насыпь считается пригодной для устройства дорожной одежды, если скорость осадки в течение месяца не превышает 2 см/год для капитальных и 5 см/год для облегченных дорожных одежд. Для ускорения посадки насыпи на минеральное дно болота и стабилизации деформаций за счет доуплотнения оставшихся после выторфовывания прослоек слабых грунтов при общей толщине насыпного слоя менее 4 м предусматривают временную пригрузку, толщина которой определяется расчетным путем, но не менее  $1/3$  общей толщины насыпи.

Для защиты земляного полотна от переувлажнения, а также для пропуска построечного транспорта с целью доуплотнения после приемки земляного полотна рекомендуется устраивать технологический слой из песчано-гравийной или щебеночной смеси, используемый в дальнейшем в качестве нижнего слоя основания. Нижний слой основания нельзя устраивать, если грунт земляного полотна находится в переувлажненном состоянии. Такое состояние наступает, когда выпадает большое количество осадков и температура слишком низкая для эффективного испарения воды. Обычно это происходит весной и осенью, поэтому в проекте организации строительства по климатическому графику определяют периоды весенней и осенней распутиц, в течение которых производить земляные работы нецелесообразно. В этом случае работы приостанавливают и возобновляют после того, как грунт земляного полотна достигнет оптимальной влажности и будет доведен до требуемой плотности.

## **19.4. Организация механизированных работ**



При строительстве автомобильных дорог создаются механизированные отряды, состоящие из машин различного функционального назначения. Отряды комплектуются по следующему принципу:

основной вид работ выполняет *ведущая* машина, а транспортные или вспомогательные работы — *комплектующие*. Например, при разработке грунта копание осуществляет экскаватор (ведущая машина), а доставку грунта на объект — автомобиль-самосвал (комплектующая). Причем комплектующих машин может быть несколько. Расчет выполнения объема задания осуществляется по ведущей машине, работа которой характеризуется производительностью в единицу времени.

Таким образом, расчет комплекта дорожных машин выполняют по производительности с учетом технологических возможностей ведущей машины при минимуме затрат и максимуме использования всех машин комплекта. Под **комплексом дорожных машин** понимают совокупность технических средств, предназначенных для реализации данного производственного процесса, которые по своей номенклатуре, количественному составу и параметрам соответствуют условиям и целям этого процесса. Число ведущих машин в комплекте, необходимых для выполнения заданного объема работ в установленные сроки, определяют из выражения

$$n_{\text{в}} = \frac{V}{\Pi_{\text{в}}^{\text{э}} k_{\text{см}} \text{Д}},$$

где  $V$  — объем работ на дороге,  $\text{м}^3$ ;  $\Pi_{\text{в}}^{\text{э}}$  — сменная эксплуатационная производительность ведущей машины,  $\text{м}^3/\text{см}$ ;  $k_{\text{см}}$  — число смен работы ведущей машины в течение суток;  $\text{Д}$  — количество рабочих дней, необходимых для выполнения объема работ.

Комплектующие машины также характеризуются производительностью, однако их работа зависит от сопутствующих факторов (например, расстояния транспортирования, продольных уклонов, маршрута движения и т.д.). Следовательно, чтобы рассчитать количество комплектующих машин, необходимых для производительной работы ведущей машины, необходимо определить время выполнения определенного объема работы одной комплектующей машиной. После этого, зная время работы ведущей машины, определяют количество комплектующих машин.

Общее количество ведущих и комплектующих машин, необходимых для выполнения определенного объема работ, и составляет комплект дорожных машин.

Число комплектующих (вспомогательных) машин в комплекте, необходимое для обеспечения бесперебойной работы ведущей машины:

$$n_{\text{к}} = \frac{\Pi_{\text{в}}^{\text{э}} n_{\text{в}}}{\Pi_{\text{к}}^{\text{э}}},$$

где  $\Pi_{\text{к}}^{\text{э}}$  — сменная эксплуатационная производительность комплектующей машины;  $n_{\text{в}}$  — число ведущих машин.

Сменная эксплуатационная производительность ведущей или комплектующей машины:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{в}}^{\text{э}} &= t_{\text{см}} H k_{\text{в}}; \\ \Pi_{\text{к}}^{\text{э}} &= \frac{t_{\text{см}} V k_{\text{в}}}{H_{\text{вр}}}, \end{aligned}$$

где  $t_{\text{см}}$  — число часов работы в смену, ч;  $H$  — производительная норма выработки, ед. продукции/ч;  $k_{\text{в}}$  — коэффициент использования внутрисменного времени:

$$k_{\text{в}} = \frac{t_{\text{п}}}{t_{\text{см}}},$$

$t_{\text{п}}$  — полезное время внутри смены, ч;  $V$  — объемы работы, ед. продукции;  $H_{\text{вр}}$  — техническая норма времени работы машины на объеме, маш.-ч.

Производительность комплекта машин находится в прямой зависимости от скорости потока в смену:

$$\Pi_{\text{в}}^{\text{э}} \geq U \quad \text{и} \quad \Pi_{\text{кп}}^{\text{э}} \geq U,$$

где  $U$  — скорость потока в смену, м/см.;  $\Pi_{\text{в}}^{\text{э}}$  — сменная эксплуатационная производительность ведущей машины в комплекте;  $\Pi_{\text{кп}}^{\text{э}}$  — эксплуатационная производительность комплекта машин.

Комплект машин подбирают в два этапа:

1) определяют эксплуатационные параметры ведущих машин, их тип, марку, а также перечень технологически необходимых комплектующих машин;

2) разрабатывают принципиальную схему расстановки машин для выполнения процессов специализированных потоков.

Если основной объем работ при строительстве земляного полотна выполняют экскаваторы, которые разрабатывают грунт в карьере, резерве, выемке, на болоте и перемещают его в кузов автомобиля самосвала, то экскаватор является ведущей машиной, а автомобиль, который доставляет грунт на объект возведения насыпи, — комплектующей. Для расчета количества автомобилей, необходимых для обеспечения эксплуатационной производительности экскаватора, необходимо определить сменную эксплуатационную производительность автомобиля-самосвала. Для этого следует выбрать автомобиль оптимальной грузоподъемности, приемлемой для объема ковша экскаватора и подъездных дорог, разработать маршрут движения автомобиля от карьера до места производства работ, обеспечить полную заполняемость грунтом кузова автомобиля. Работа автомобиля в течение смены считается рациональной, если коэффициент использования его грузоподъемности приближается к единице. Суточную производительность транспортного средства (автомобиля) определяют по выражению, приведенному на с. 137.

## 19.5. Определение объемов грунта при его разработке



При сооружении земляного полотна объем грунта, необходимого для возведения насыпи, складывается из объема грунта, доставляемого из разрабатываемых выемок, и грунта, добываемого в карьерах или резервах. В связи с этим необходимо разработать оптимальный план перемещения земляных масс из различных источников поступления грунта с учетом загрузки автомобилей, потерь при перевозке и перемещения транспорта к объекту и на самом объекте.

При разработке выемки могут возникнуть случаи, когда грунт перемещают из выемки в насыпь и определяют объем насыпи, сооружаемой из грунта выемки (см. 6.2). Однако для выполнения полного объема земляных работ необходимо поставлять грунт из ближайших карьеров. При таком условии работы по отсыпке земляного полотна имеются два решения:

- 1) выемка лежит в начале или в конце строящегося участка. В этом случае разработка выемки начинается с ближайшего участка

к трассе, удаляясь от нулевого баланса по мере разработки выемки. При этом расстояние перемещения грунта постоянно увеличивается, а следовательно, увеличиваются и затраты на грузоперевозки. Эти затраты сравниваются с затратами на перевозку грунта из сосредоточенного карьера и таким образом определяют границу действия выемки и сосредоточенного резерва;

2) выемка лежит внутри строящегося участка. В этом случае грунт для отсыпки насыпи распределяется пропорционально направо и налево от выемки в зависимости от протяженности участков и их объемов. Отсыпка грунта «веером» уменьшает его объем, следовательно, граница действия выемки как источника разработки грунта по отношению к сосредоточенному карьере будет приближаться к границе выемки.

При подсчете объемов грунта, перемещаемого из резервов и выемок в насыпи, следует учитывать изменение объема грунта за счет искусственного уплотнения. Фактический объем грунта  $V_{\phi}$ , подлежащий разработке в резерве или выемке и перемещению в насыпь, определяют из выражения

$$V_{\phi} = VK_{\text{отн}},$$

где  $V$  — объем проектируемой насыпи, м<sup>3</sup>;  $K_{\text{отн}}$  — коэффициент относительного уплотнения, который вычисляют как отношение требуемой плотности сухого грунта в насыпи  $\rho_d$  к его плотности в резерве или выемке  $\rho_{d \text{ рез}}$ :

$$K_{\text{отн}} = \frac{\rho_d}{\rho_{d \text{ рез}}}.$$

Потери грунта при транспортировании в земляные сооружения автотранспортом, скреперами и землевозами следует учитывать в размере: не более 0,5 % при транспортировании на расстояние до 1 км и 1,0 % при транспортировании далее 1 км.

Эффективность выполнения земляных работ оценивается через приведенные затраты, которые отражают затраты на производство продукции с учетом коэффициента сравнительной эффективности, определяемого из выражения

$$C^{\text{пр}} = C_{\text{н}} + E_{\text{н}} K,$$

где  $C_{\text{н}}$  — текущие затраты производства (себестоимость продукции, эксплуатационные расходы);  $E_{\text{н}}$  — нормативный коэффициент

сравнительной экономической эффективности;  $K$  — единовременные затраты (капитальные вложения).

Для комплексно-механизированных процессов под критерием минимума приведенных затрат следует понимать минимум общих приведенных затрат:

$$C^{np} = (C_p^{np} + C_e^{np} + C_n^{np}) \rightarrow \min,$$

где  $C_p^{np}$  — приведенные затраты на использование машин непосредственно при выполнении работ на объекте;  $C_e^{np}$  — приведенные затраты на перебазирование машин-исполнителей на объект, переходы машин внутри объекта и другие единовременные затраты;  $C_n^{np}$  — приведенные затраты в период простоев машин, вызванных неравномерностью их загрузки в потоке работ.

Разработка рационального плана перемещения земляных масс является важной частью проекта производства работ, в результате решения которой определяются наиболее целесообразные для разработки источники грунта и области их действия.

*Областью действия источника грунта* (карьера, резерва, выемки) называют участок трассы, на котором отсыпка грунта при возведении насыпи является более экономически целесообразной, чем при отсыпке грунта из другого источника. Это условие можно выразить уравнением, в котором затраты на вывозку грунта из соседних карьеров будут равны между собой:

$$C_{p1}^{np} = C_{p2}^{np},$$

где  $C_{p1}^{np}$  — приведенные затраты на перевозку единицы продукции (грунта) из первого карьера;  $C_{p2}^{np}$  — приведенные затраты на перевозку грунта из второго карьера.

Приведенные затраты, приходящиеся на единицу объема грунта, перемещаемого из первого карьера, определяют из выражения

$$C_{p1}^{np} = C_{т1}^{np} H_{вр}(l_t) + C_{п1}^{np},$$

где  $C_{т1}^{np}$  — приведенные затраты на разработку и перемещение грунта из первого карьера;  $H_{вр}(l_t)$  — норма времени на разработку и перемещение грунта из первого карьера на расстояние  $l_t$  от карьера до границы действия карьера на трассе;  $C_{п1}^{np}$  — приведенные затраты на выполнение подготовительных работ.

Точка на трассе, в которой стоимость доставки грунта из соседних карьеров одинакова для этих карьеров, и будет определять границу действия карьера (см. рис. 6.3).

Экономически целесообразная граница зон действия карьеров  $l_3$  может быть определена путем построения графика зависимости стоимости перевозки единицы продукции от расстояния транспортирования  $C_{p1}^{np}$  и  $C_{p2}^{np}$  (см. рис. 6.6). Точка пересечения наклонных линий свидетельствует о равенстве стоимости грузоперевозок, следовательно, эта точка является границей действия карьера.

При определении экономически целесообразной границы областей действия карьеров возможны три случая:

□  $l_{31} < l_3$  — экономически целесообразна разработка обоих карьеров;

□  $l_{31} \geq l_3$  — разработка второго карьера экономически нецелесообразна;

□  $l_{31} \leq 0$  — разработка первого карьера экономически нецелесообразна.

Грунт для отсыпки насыпи можно разрабатывать не только в сосредоточенном карьере, но и в выемке, при условии, что разрабатываемый грунт пригоден для отсыпки насыпи земляного полотна. В этом случае граница действия выемки как источника разработки грунта может быть приравнена к зоне действия первого карьера. Кроме того, следует учитывать, что при разработке выемки часть грунта может быть непригодна для насыпи и поэтому может отсыпаться в кавальер. Тогда равенство приведенных затрат будет описываться уравнением

$$C_{p.v}^{np} - C_{p.v \rightarrow k}^{np} = C_{p2}^{np},$$

где  $C_{p.v}^{np}$  — приведенные затраты на подготовку, разработку и перемещение грунта из выемки;  $C_{p.v \rightarrow k}^{np}$  — то же из выемки в кавальер или отвал.



## 19.6. Построение календарного графика строительства

Одним из элементов проекта организации строительства является **линейный календарный график**, показывающий очередность и сроки строительства (рис. 19.2). Этот график включает количество, направление и скорости комплексных потоков, сроки выполнения подготовительных и сосредоточенных работ.

Календарный график состоит из двух частей: нижней, содержащей информационные характеристики видов и объемов работ, и верхней, в которой ниже обозначенные виды работ представлены графически.

Информационная часть графика включает:

- протяженность дороги с разбивкой по пикетам;
- план трассы;
- объем работ и продолжительность выполнения подготовительных работ;
- количество, размер и продолжительность строительства железобетонных труб;
- объем и продолжительность выполнения бульдозерных работ;
- объем и продолжительность выполнения скреперных работ;
- объем и продолжительность выполнения экскаваторных работ;
- объем выторфовывания болота с засыпкой грунтом и временные затраты;
- объем работ и продолжительность устройства присыпных обочин;
- объем и продолжительность отделочных работ.

Календарный график должен обеспечивать оптимальную организацию строительства, что требует точной согласованности всех работ с учетом их особенностей. Одной из основных задач, решаемых организацией строительства, является максимальное увеличение сменности использования машин, поэтому дорожно-строительные работы необходимо проводить в две смены.

Одной из важных особенностей линейных календарных графиков является детализация поточного производства, начиная

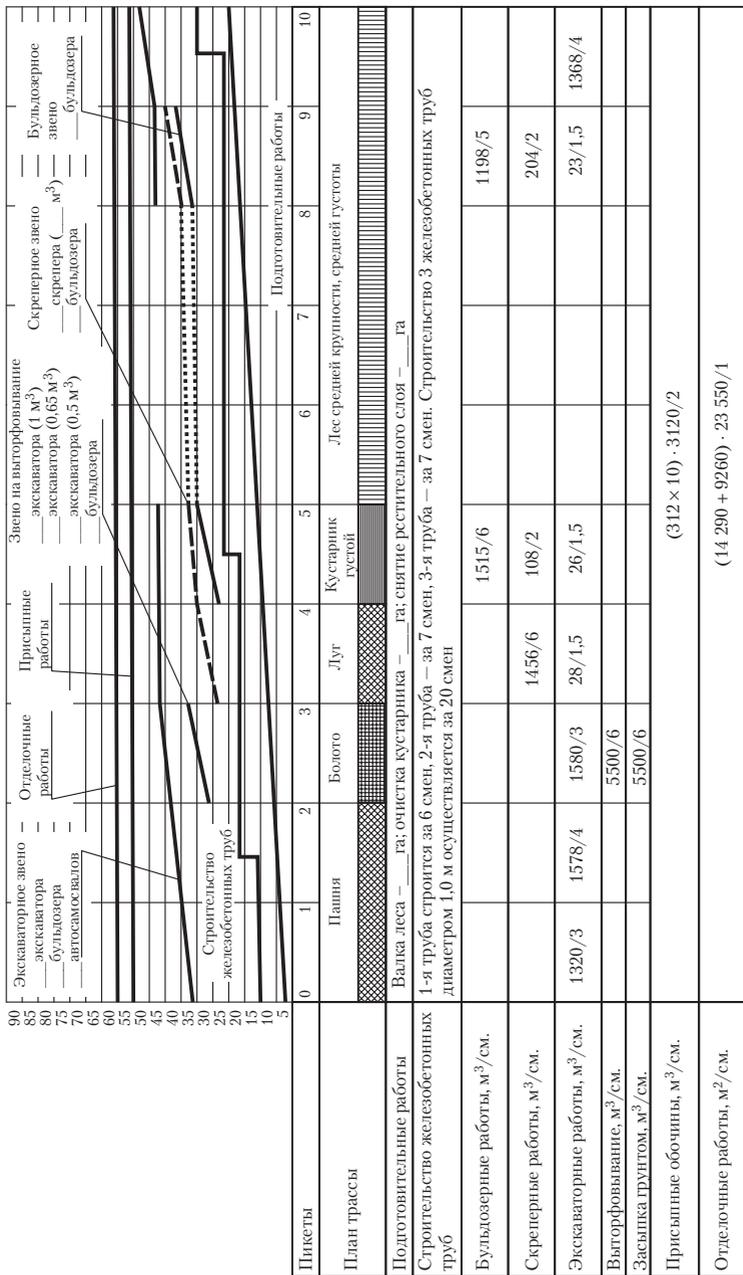


Рис. 19.2. Линейный календарный график возведения земляного полотна

от изображения комплексного потока одной линией до нанесения нескольких линий, каждая из которых отражает работу вплоть до бригад и звеньев.

Календарные графики подразделяются на генеральные (директивные) и рабочие. *Генеральный график* охватывает подготовительный, основной и заключительный периоды строительства. Утвержденный вышестоящими организациями генеральный график является *директивным*, т.е. обязательным для выполнения. *Рабочий график* строительства составляет строительная организация. На нем в соответствии с реальными условиями показывают уточненные сроки и затраты труда на каждый вид строительномонтажных работ (рис. 19.3). Рабочий график содержит подробный перечень всех работ. На основе рабочего графика составляют графики обеспечения строительства элементами сборных конструкций, материалами, инвентарным оборудованием, а также графики потребности в рабочих, механизмах и монтажном оборудовании (рис. 19.4).

Линейные графики строят, принимая по горизонтали протяженность дороги с разбивкой на километры, по вертикали — время, выраженное в сменах на весь период строительства. Под графиком показывают спрямленный в линию план дороги с нанесением ситуации, расположением дорожных труб, а ниже — объемы всех работ на каждом километре. Ниже графика приводят номера и состав отрядов и звеньев, участвующих в работе.

Основной принцип отображения видов работ на линейном календарном графике заключается в том, что линейные работы (подготовительные, бульдозерные, грейдерные, скреперные, экскаваторные) отображаются на графике в виде наклонных линий, длина которых соответствует времени выполнения этих работ, в порядке их очередности. Сразу после подготовительных работ выполняют выторфовывание болотного грунта с засыпкой траншеи грунтом, и только после этого начинают строительство дорожных труб. Выторфовывание может выполняться после строительства труб, если место расположения болота не совпадает с местом строительства трубы. При наличии на дороге выемки земляные работы продолжают выполнять бульдозером и скрепером (перемещение грунта из выемки в насыпь) с последующей доставкой недостающего объема грунта из карьера при его разработке экскаватором. Если выемка

Наименование работ	Единица измерения	Объем работ	Трудоёмкость на весь объём работ, чел.-ч.	Состав бригады	1-я смена								2-я смена								
					1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4					
Подготовительно-заключительные работы	—	—	1,2	Машинист бульдозера 6 разр. — 2	2	0,2									2	2					
Срезка растительного грунта бульдозером	$\frac{m^2}{m^3}$	$\frac{2000}{308}$	3			2	1,5									0,2	0,2				
Разравнивание грунта бульдозером слоями толщиной до 30 см в плотном состоянии с планировкой отсыпанного слоя	$m^3$	2100	15,6	Машинист катка 6 разр. — 1				2	6,1								2	1,7			
Досыпка откосов насыпи растительным грунтом бульдозером	$m^3$	240	2,2																	2	1,1
Подготовка катка к работе и уход за машиной в конце смены	—	—	0,9	Машинист катка 6 разр. — 1	1	0,5											1	1			
Уплотнение подошвы насыпи катком на пневматических шинах за 4 прохода катка по одному следу	$m^2$	2000	1,5																	0,2	0,2
Последнее уплотнение грунта катком на пневматических шинах при отсыпке насыпи за 8 проходов по одному следу	$m^3$	2100	8,1	Машинист автогрейдера 6 разр. — 1																	
Планировка верха земляного полотна автогрейдером, оборудованным системой «Профиль-1»	$m^2$	1600	1												1	5,8					1
Итого на 2100 $m^3$ грунта на 1000 $m^3$ грунта			33,50 15,95																		

Рис. 19.3. Линейный график строительства (цифра в числителе обозначает число рабочих (машинистов), в знаменателе — трудоёмкость всего объёма работ)

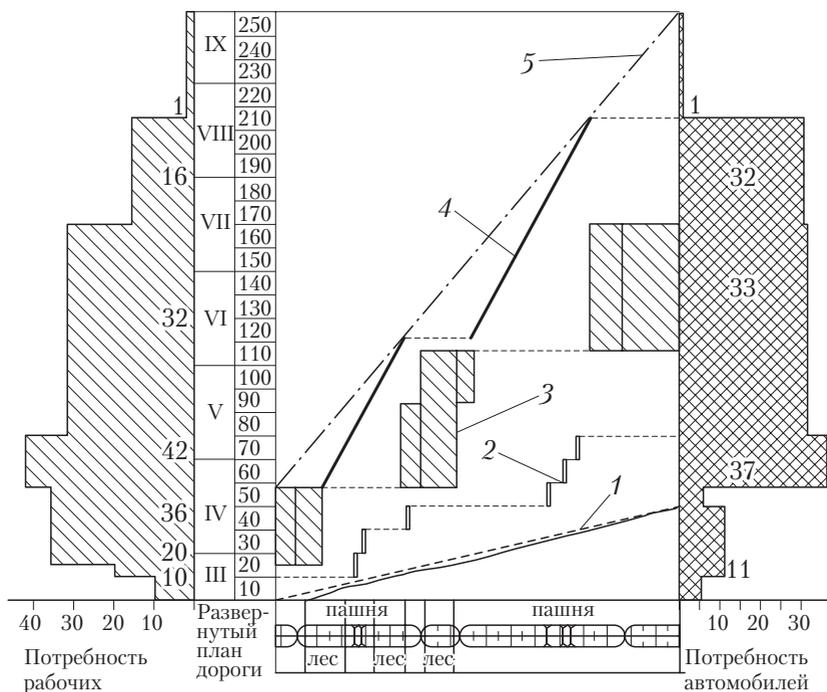


Рис. 19.4. Календарный график возведения земляного полотна:  
 1 — подготовительные работы; 2 — возведение малых водопропускных сооружений; 3 — отряд № 1 (самоходные скреперы); 4 — отряд № 2 (экскаватор и самосвалы); 5 — профилировка полотна автогрейдером

на участке отсутствует, но имеет место боковой резерв, то работы продолжают бульдозером и скрепером (отсыпка земляного полотна грунтом из боковых резервов). Если боковые резервы не предусмотрены проектом производства работ, то грунт разрабатывают экскаватором в карьере с доставкой на объект автомобилями-самосвалами. При небольшом удалении карьера от места сооружения насыпи эту работу могут выполнять скреперы. В этом случае бульдозеры будут заняты на разравнивании грунта и предварительном уплотнении гусеницами от собственного веса трактора.

Сосредоточенные работы (строительство искусственных сооружений, подготовка площадки и монтаж оборудования притрассовых заводов) отображаются на графике вертикальными линиями, длина которых соответствует продолжительности выполнения данных

работ в сменах, против мест их расположения на плане дороги. Если строительство дорожных труб выполняет одна бригада, то эти отрезки должны быть соединены горизонтальными линиями, обозначающими ее переход на новый объект строительства после завершения работ на предыдущем объекте.

На календарном графике линии работ по всем сооружениям наносят по срокам предполагаемого их строительства. Линии работ нелинейных сооружений наносят по срокам работ бригад и звеньев, выполняющих эти работы.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА НА ВОЗВЕДЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА



### 20.1. Общие сведения

---

**Технологическая карта** — комплексный нормативный документ, устанавливающий технологическую последовательность и организацию выполнения определенного вида работ по сооружению конструктивного элемента или конструкции в целом на основе качественных материалов, современных технологий и высокопроизводительных машин. Для многократно повторяющихся процессов разрабатывают  *типовые технологические карты*, служащие руководством для выполнения строительно-монтажных работ определенного назначения с учетом различных условий, имеющих место при строительстве конкретного объекта.

В технологических картах приводятся последовательность технологических процессов, выполняемых строительными отрядами (звеньями) с использованием необходимых машин и оборудования, с применением качественных материалов для сооружения конструкции, удовлетворяющей требованиям технического проекта.

В состав технологической карты входят следующие основные разделы:

□ *технологическая часть* — включает требования технологии к выполнению данной работы с указанием последовательности процессов, требования к качеству работ и способы контроля;

□ *организация работ* — содержит перечень рабочих процессов с расчетом объемов работ, установление скорости и состава потока, план потока, почасовой сменный график работ, указания по технике безопасности;

□ *техничко-экономическая часть* — включает материально-технические ресурсы, калькуляцию затрат труда и стоимости работ, технико-экономические показатели.

Технологическая карта содержит схему общей организации работ в виде плана потока и схемы работы машин, занятых на потоке. Технологическую схему потока составляют и вычерчивают для каждого специализированного потока как сумму последовательно работающих частных потоков. При составлении технологической схемы организации работ на плане потока руководствуются следующими положениями:

□ располагают все применяемые машины с соблюдением масштаба, принятого для чертежа, в порядке технологической последовательности и направления движения потока;

□ показывают и нумеруют на плане проходы для каждой машины, причем проходы должны быть обозначены по всей захватке, а разворот машины показан на соседней;

□ при расстановке машин и установлении технологической последовательности рабочих операций учитывают детали, обеспечивающие качество производства работ.

В комплект технологических карт включены карты на возведение земляного полотна в насыпи в обычных (ТК-07-01–88... ТК-07-06–88) и сложных условиях (ТК-07-07–88... ТК-07-11–88) и устройство земляного полотна в выемке (ТК-07-12–88... ТК-07-22–88). Предусмотрено выполнение работ комплексными механизированными звеньями.

## 20.2. Структура технологической карты и характеристика основных разделов



В практике дорожного строительства широко применяются технологические карты, разработанные:

□ для различных условий возведения земляного полотна (обычных, сложных);

□ различных конструкций (насыпей, выемок, полувыемок-полунасыпей, с выторфовыванием и использованием торфа в основании насыпи);

□ различных ведущих машин (грейдеров, бульдозеров, скреперов, экскаватов, комплектов машин, сочетающих применение нескольких ведущих).

В данной главе приведено несколько технологических схем по возведению земляного полотна с помощью автогрейдера (рис. 20.1), прицепного скрепера (рис. 20.2), устройства насыпи на болоте с полным выторфовыванием (рис. 20.3) и из привозного грунта (рис. 20.4).

Структура технологической карты включает следующие разделы.

*Область применения.* Технологическая карта регламентирует порядок производства работ по возведению земляного полотна с разработкой (указывается вид ведущей машины), доставкой (указывается способ доставки), послойным уплотнением (указывается вид уплотняющей машины) и планировкой откосов (указывается вид планировщика).

*Нормативные ссылки.* В технологической карте используются ссылки на технические нормативные акты (ТКП, СТБ, ГОСТы).

*Характеристика применяемых материалов.* Приводится краткая характеристика регламентируемых государственными стандартами или техническими нормами свойств материалов, которые применяются при возведении земляного полотна.

*Характеристика применяемых машин.* Приводятся параметры применяемой техники: емкость ковша экскаватора, экскаватора-планировщика, скрепера, мощность бульдозера, автогрейдера, скрепера, масса катка и его вид, класс и вид автогрейдера и скрепера, грузоподъемность автомобилей-самосвалов.

*Организация и технология производства работ.* Включает перечень подготовительных работ, которые необходимо выполнить до устройства насыпи. Отражены особенности по возведению земляного полотна в зимних условиях. Приведена операционная карта, в которой рассмотрены технологические операции, средства технического обеспечения, квалификационный состав звена рабочих по профессиям, разрядам и количественному составу.

*Потребность в материально-технических ресурсах.* Приводится ведомость потребности в материалах и машинах при возведении насыпи земляного полотна из привозного грунта с послойным уплотнением.



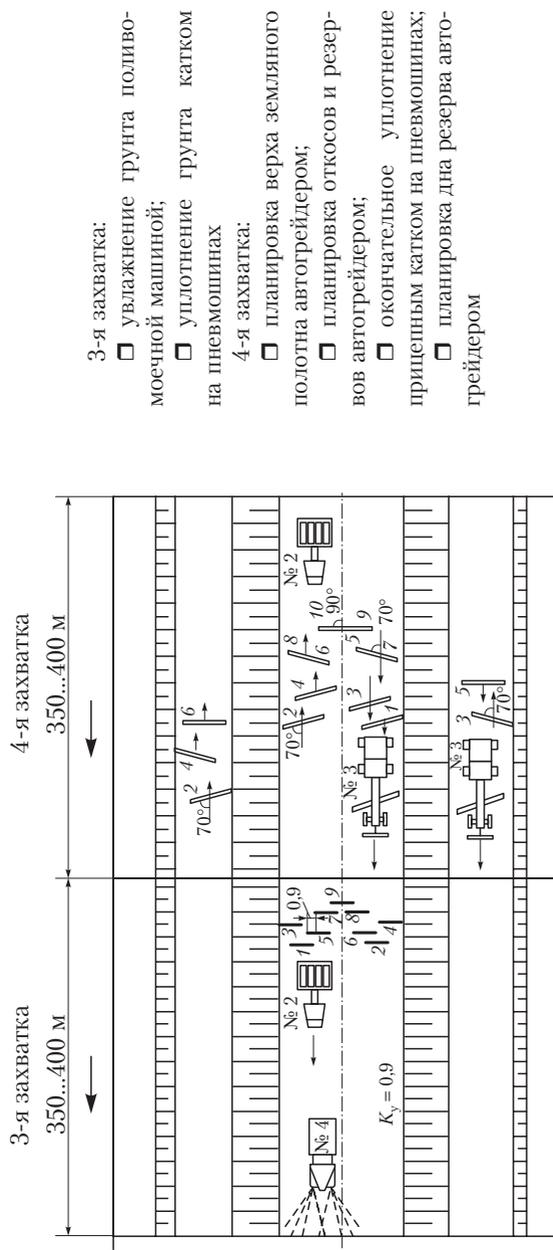


Рис. 20.1. Схема организации и производства работ на возведение земляного полотна из грунта боковых резервов автогрейдером:  
 № 1 — бульдозер; № 2 — каток на пневматических шинах; № 3 — автогрейдер; № 4 — поливочная машина;  
 1–10 — порядок проходов;  $K_y = 0,9$  — коэффициент уплотнения грунта



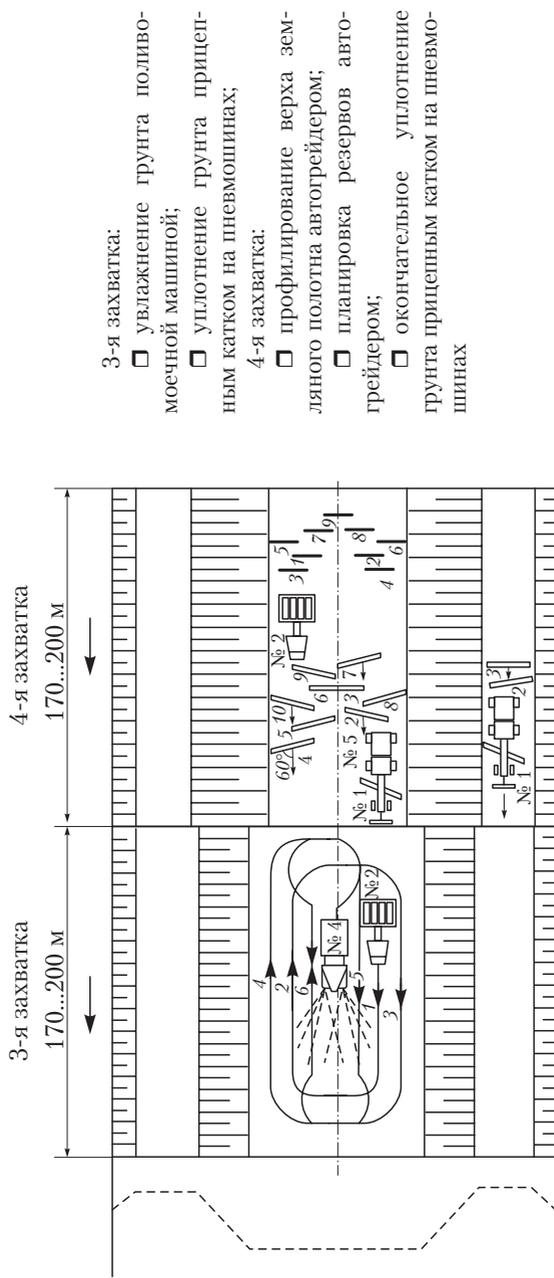
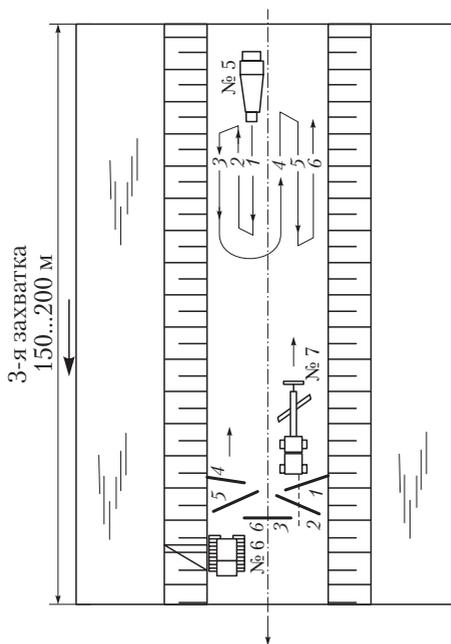


Рис. 20.2. Схема организации и производства работ на возведение земляного полотна из грунта боковых резервов прицепным скрепером:  
 № 1 — бульдозер; № 2 — каток на пневматических шинах; № 3 — прицепной скрепер; № 4 — поливочная машина; № 5 — автогрейдер; 1–9 — порядок проходов;  $K_y = 0,9$  — коэффициент уплотнения грунта



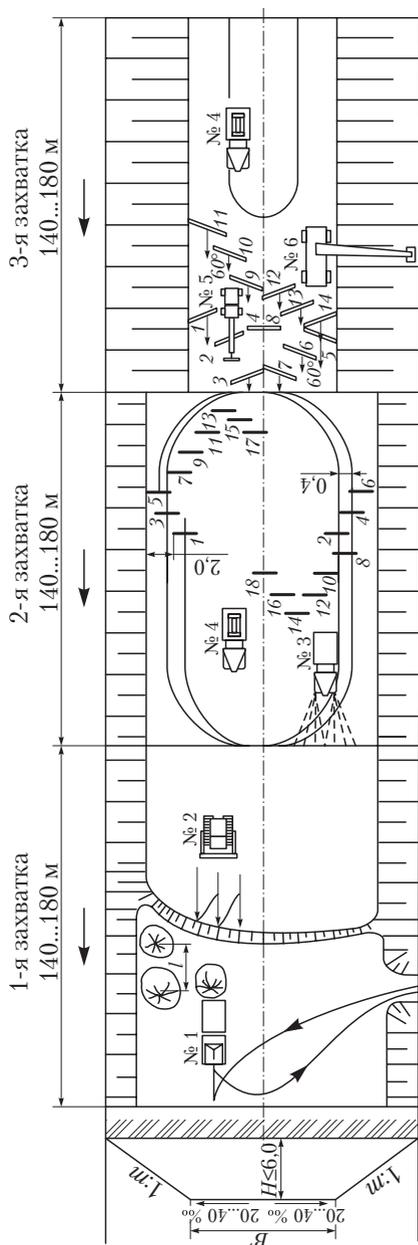


3-я захватка:

- планировка грунта на откосах откосопланировщиком, установленным на гусеничном тракторе;
- профилирование верха земляного полотна автогрейдером;
- окончательное уплотнение верха земляного полотна

Рис. 20.3. Схема организации и производства работ на возведение земляного полотна на болоте I типа с полным выторфовыванием:

№ 1 — экскаватор-драглайн; № 2 — автомобиль-самосвал; № 3 — бульдозер; № 4 — трамбующая плита, подвешенная на экскаваторе; № 5 — каюк; № 6 — откосопланировщик, установленный на гусеничном тракторе; № 7 — автогрейдер; 1–6 — порядок проходов



1-я захватка:

- доставка грунта из карьера автомобилями-самосвалами и выгрузка в виде куч;
- разравнивание грунта бульдозером;

2-я захватка:

- увлажнение грунта поливочной машиной
- уплотнение грунта на пневмошинах;

3-я захватка:

- планировка верха земляного полотна автогрейдером;
- окончательное уплотнение земляного полотна катком на пневмошинах
- срезка излишка грунта с откосов экскаватором
- планировка откосов экскаватором

Рис. 20.4. Схема организации и производства работ на возведение земляного полотна из привозного грунта:  
 № 1 — автомобиль-самосвал; № 2 — бульдозер; № 3 — поливочная машина; № 4 — каток на пневматических шинах; № 5 — автогрейдер; № 6 — экскаватор с планировочным ковшом; 1–18 — порядок проходов

*Контроль качества и приемка работ.* Перед началом работ по возведению земляного полотна определяют соответствие показателей грунта в проекте и в реальных условиях. Для этого существует входной контроль, по которому определяют показатели состава и состояния грунтов в карьерах, резервах, выемках, естественных основаниях. Во время возведения земляного полотна проводят операционный контроль, а по окончании строительства — приемочный.

Контроль качества выполнения работ проводится в соответствии с картой контроля технологических процессов, которая, помимо контролируемых параметров, включает объем контроля, его периодичность, исполнителя, метод контроля и средства измерений. Все полученные результаты оформляются и заносятся в журнал производства работ, журнал лабораторного контроля или оформляются в виде акта на скрытые работы.

*Калькуляция затрат труда.* Составляется в табличной форме и представляет собой сводный документ, включающий наименование работ, объем и единицы измерения этого объема, норму труда на единицу измерения, состав звена или бригады с указанием по профессиям, разрядам и количественному составу. Основным показателем калькуляции являются затраты на выполненный объем, представляющие собой произведение нормы затрат на объем работ.

### 20.3. Технология производства работ согласно технологической карте



Технология производства работ приведена на основании технологической карты на возведение земляного полотна из привозного грунта с послойным уплотнением.

*Область применения.* Технологическая карта на возведение земляного полотна из привозного грунта с послойным уплотнением регламентирует порядок производства работ по возведению земляного полотна высотой до 6 м из несвязных грунтов I и II группы с разработкой экскаватором, доставкой автосамосвалами, послойным уплотнением самоходными вибрационными катками и планировкой откосов экскаватором-планировщиком.

Технологическая карта учитывает следующие условия:

1) земляное полотно, как правило, возводят из однородных грунтов. Верхнюю часть насыпи на высоту 0,5...0,95 м (считая от поверхности покрытия) отсыпают из песчаных и легких супесчаных грунтов. При изменении вида грунта слои разных видов сопрягают по типу выклинивания (рис. 20.5). При использовании для отсыпки насыпи неоднородных грунтов менее дренирующие грунты располагают в нижних слоях и их поверхность придают поперечный уклон в 40 ‰, более дренирующие — в верхних слоях насыпи;

2) земляное полотно возводится из грунтов оптимальной влажности, влажность глинистых грунтов не должна более чем в 1,1 раза превышать показатель оптимальной влажности при стандартном уплотнении;

3) разработка грунта в карьере производится экскаваторами обратной лопатой с ковшом емкостью 1,0...1,6 м<sup>3</sup> с погрузкой в автосамосвалы;

4) транспортировка грунта производится автосамосвалами грузоподъемностью не менее 10 т;

5) уплотнение слоев грунта производится самоходными вибрационными комбинированными катками массой 10...20 т;

6) для заезда дорожных машин и автосамосвалов на насыпь через 150...200 м устраивают временные съезды;

7) при устройстве земляного полотна на косогоре бульдозером нарезают уступы шириной 2...3 м (рис. 20.6).

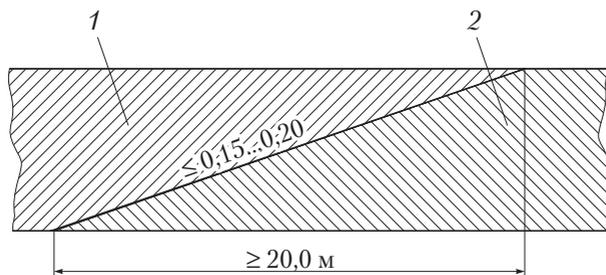


Рис. 20.5. Схема выклинивания грунтов в продольном направлении земляного полотна:  
1, 2 — грунт разного вида

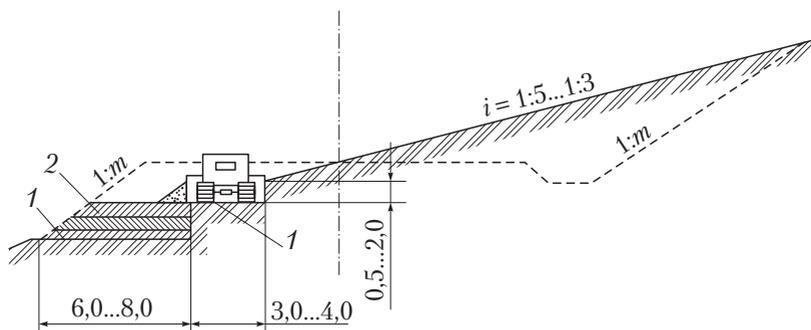


Рис. 20.6. Нарезка уступа бульдозером с поворотным отвалом на косогоре:

1 — уступ; 2 — отсыпанные слои

**Нормативные ссылки.** В технологической карте использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации:

ТКП 059–2007. Автомобильные дороги. Правила устройства.

ТКП 45-1.01-159–2009. Строительство. Технологическая документация при производстве строительно-монтажных работ. Состав, порядок разработки, согласования и утверждения технологических карт.

ТКП 45-1.03-40–2006. Безопасность труда в строительстве. Общие требования.

ТКП 200–2009. Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования.

ТКП 313–2011. Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила устройства.

СТБ 1114–98. Вода для бетонов и растворов. Технические условия.

СТБ 1306–2002. Строительство. Входной контроль продукции. Основные положения.

ГОСТ 427–75. Линейки измерительные металлические. Технические условия.

ГОСТ 10528–90. Нивелиры. Общие технические условия.

ГОСТ 10529–96. Теодолиты. Общие технические условия.

ГОСТ 22733–2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности.

**Характеристика применяемых материалов.** Из материалов, используемых при строительстве земляного полотна, применяется вода, которая должна соответствовать требованиям СТБ 1114–98.

**Характеристика применяемых машин.** При возведении земляного полотна высотой до 6 м из несвязных грунтов I и II группы с разработкой экскаватором, доставкой автосамосвалами, послойным уплотнением самоходными вибрационными катками и планировкой откосов экскаватором-планировщиком применяются следующие машины:

- экскаватор с емкостью ковша 1,0...1,25 м<sup>3</sup>;
- бульдозер мощностью 130...150 кВт;
- каток самоходный вибрационный массой 10...13 т;
- автогрейдер среднего класса мощностью двигателя 130 л.с.;
- экскаватор-планировщик с ковшом емкостью 0,63 м<sup>3</sup> и планировочной доской;
- автосамосвал грузоподъемностью 10 т.

**Организация и технология производства работ.** В этом разделе приводится операционная карта (табл. 20.1), в которой отражаются перечень проводимых операций; механизмы, с помощью которых выполняются операции; рабочие, операторы и механизаторы, управляющие машинами и занятые на ручных земляных работах.

Технология производства работ включает разработку грунта в карьере (котловане, выемке) с погрузкой в автосамосвалы. Разработку производят проходками (забоями), применяя схему продольных проходов (рис. 20.7).

Доставляют грунт к месту возведения насыпи автомобилями-самосвалами грузоподъемностью не менее 10 т и выгружают грунт в кучи, расстояние между которыми определяют из выражения

$$L = \frac{Q}{bhK_y},$$

где  $Q$  — объем грунта в кузове, м<sup>3</sup>;  $b$  — ширина слоя отсыпки, м;  $h$  — толщина слоя отсыпки, м;  $K_y$  — коэффициент уплотнения грунта.

Работы по возведению земляного полотна из привозного грунта выполняют на трех захватках длиной 140...180 м. Схема организации работ представлена на рис. 20.4 (см. с. 312).

Таблица 20.1

## Операционная карта строительства земляного полотна

Наименование операции	Средства технологического обеспечения	Исполнитель	Описание операции
Разработка грунта в карьере с погрузкой в автосамосвалы	Экскаватор на гусеничном ходу, бульдозер	Машинист экскаватора 6 (7) разр. — 1 (М1); машинист бульдозера 6 разр. — 1 (М2); дорожный рабочий 2 разр. — 2 (Др1, Др2)	М1 управляет экскаватором при разработке грунта и погрузке в автосамосвалы; М2 управляет бульдозером при планировке дна забоя; Др1, Др2 выполняют ручные земляные работы при содержании дна забоя и подъездных путей
Приемка грунта и регулирование движения автосамосвалов	—	Дорожный рабочий 3 разр. — 1 (Др3); водитель автосамосвала (количество — по расчету) (В1)	Др3 регулирует движение автосамосвалов при отсыпке грунта в насыпь; В1 управляет автосамосвалом при выгрузке грунта
Разравнивание и уплотнение грунта	Бульдозер	Машинист бульдозера 6 разр. — 1 (М3); дорожный рабочий 2 разр. — 1 (Др4)	М3 управляет бульдозером при разравнивании и уплотнении грунта; Др4 выполняет ручные земляные работы при разравнивании и уплотнении грунта в слоях насыпи
Уплотнение грунта	Каток самоходный комбинированный вибрационный	Машинист катка 6 разр. — 1 (М4)	М4 управляет катком при уплотнении грунта в насыпи
Увлажнение грунта до оптимальных показателей	Поливомесная машина	Водитель — 1 (В2)	В2 управляет поливомесочной машиной при увлажнении грунта

Окончание табл. 20.1

Наименование операции	Средства технологического обеспечения	Исполнитель	Описание операции
Планировка верха земляного полотна	Автогрейдер среднего типа	Машинист автогрейдера 6 разр. — 1 (М5); дорожный рабочий 2 разр. — 1 (Др5)	М5 управляет автогрейдером при планировке земляного полотна; Др5 выполняет ручные земляные работы при планировке земляного полотна
Срезка излишков грунта с погрузкой в автосамосвалы и планировка откосов насыпи	Экскаватор-планировщик	Машинист экскаватора 8 разр. — 1 (М6); дорожный рабочий 2 разр. — 1 (Др6)	М6 управляет экскаватором-планировщиком при срезке грунта с погрузкой в автосамосвалы и планировке откосов насыпи; Др6 выполняет ручные земляные работы при планировке откосов насыпи
Окончательное уплотнение верха земляного полотна	Каток самоходный комбинированный вибрационный, автогрейдер среднего типа	Машинист катка 6 разр. — 1 (М7); машинист автогрейдера 6 разр. — 1 (М6); дорожный рабочий 2 разр. — 1 (Др7)	М7 управляет катком при уплотнении грунта в насыпи; М6 управляет автогрейдером, выполняющим планировку поверхностей при уплотнении верха земполотна; Др7 выполняет ручные земляные работы

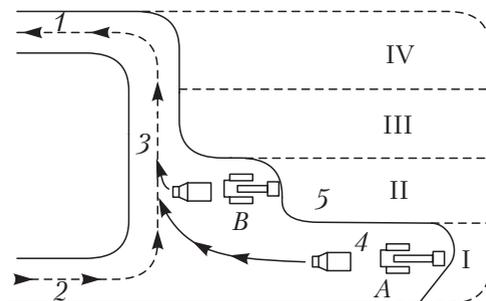


Рис. 20.7. Схема разработки грунта в карьере продольными проходами: 1, 2 — въезд и выезд временной дороги; 3 — разрезная траншея; 4 — забой экскаватора А; 5 — забой экскаватора В; I–IV — номера забоев

На *первой захватке* производят отсыпку грунта в насыпь от краев к середине, разравнивание слоями толщиной 0,4 м и планировку грунта бульдозером с уклоном к бровке 20 ‰ для песчаных грунтов, 40 ‰ — для глинистых.

На *второй захватке* грунт уплотняют в слоях насыпи самоходным вибрационным комбинированным катком массой 10...13 т при влажности, не превышающей значений, указанных в табл. 20.2.

Таблица 20.2

**Допустимая влажность  $W_{\text{доп}}$  в долях от оптимальной  $W_0$**

Вид грунта	Требуемый коэффициент уплотнения грунта			
	Свыше 1,0	1...0,98	0,95	0,90
Пески пылеватые, супеси легкие крупные	0,85...1,30	0,80...1,35	0,75...1,60	0,75...1,60
Супеси легкие и пылеватые	0,85...1,20	0,80...1,25	0,75...1,35	0,70...1,60
Супеси тяжелые пылеватые и суглинки легкие и легкие пылеватые	0,90...1,10	0,85...1,15	0,80...1,30	0,75...1,50
Суглинки тяжелые и тяжелые пылеватые, глины	0,90...1,00	0,90...1,05	0,85...1,20	0,80...1,30

При уплотнении грунта могут возникнуть различные ситуации:

□ влажность равна оптимальной ( $W = W_0$ ) — наилучшие условия для уплотнения, работы проводятся без ограничений при рекомендуемом числе проходов катка по одному следу;

□ влажность находится между оптимальным значением и нижним пределом ( $W_{н доп} < W < W_o$ ) — увеличивают число проходов катка по одному следу по отношению к нормированному;

□ влажность меньше нижнего предела ( $W < W_{н доп}$ ) — грунт увлажняют с помощью поливовой машины в количестве 10 % от половины объема грунта;

□ влажность находится между оптимальным значением и верхним пределом ( $W_{в доп} > W > W_o$ ) — снижают примерно на 1–2 прохода катка по одному следу, при условии обеспечения требуемой плотности;

□ влажность больше верхнего предела ( $W > W_{в доп}$ ) — предусматривают естественное просушивание или добавление песка, сухого малосвязного грунта, шлака, неактивной золы, активных добавок (известь, зола-унос, гипс), в крайнем случае замену переувлажненного грунта.

Если уплотнение производят катком на пневматических шинах, то 1-й проход вдоль захватки начинают, отступив от бровки на 2 м, а начиная с 3-го по 6-й проход смещаются в сторону бровки на одну треть следа. Закончив уплотнение боковых упоров, каток смещается в центральную часть. Такая схема уплотнения составляет один след; всего выполняют от 4 для катка массой 10...13 т или 6 проходов для катка массой 14...20 т до числа, полученного в результате пробного уплотнения. При работе пневмокатка учитывается не только число проходов по одному следу, но и давление в шинах, что отражается на удельном давлении катка на грунт.

На *третьей захватке* выполняют планировку верха и откосов земляного полотна автогрейдером и экскаватором-планировщиком, а также окончательное уплотнение верха земляного полотна вибрационным катком массой 10...13 т за 4 прохода по одному следу.

**Потребность в материально-технических ресурсах.** Потребность в воде, необходимой для увлажнения грунта до оптимального состояния, отражена в табл. 20.3.

Таблица 20.3

**Ведомость потребности в материалах для устройства 100 м<sup>3</sup> насыпи**

Наименование материала	Обозначение ТНПА	Единица измерения	Количество
Вода	СТБ 1114–98	т	5

Перечень машин и оборудования, необходимых для возведения насыпи земляного полотна из привозного грунта с послойным уплотнением, приведен в табл. 20.4.

Таблица 20.4

## Перечень машин и оборудования

Наименование	Тип или марка	Назначение	Количество на звено (бригаду), шт.
Экскаватор	JCB JS 220 SC (JCB JS 240 SC)	Разработка грунта в карьере с погрузкой в автосамосвалы	3
Автосамосвал	Грузоподъемность от 10 т	Транспортировка грунта из карьера в насыпь	По расчету
Бульдозер	TD-15M Extra	Планировка дна забоя в карьере. Разравнивание грунта при отсыпке слоев земляного полотна и при уплотнении	2
Каток	ВГ-12 (ДУ-85, НАММ 3518)	Уплотнение грунта в насыпи, окончательное уплотнение верха земляного полотна	1
Автогрейдер	ГС-14-02	Планировка верха земляного полотна	1
Экскаватор-планировщик	EW-25-M1 «Антей»	Срезка излишков грунта и планировка откосов насыпи	1
Поливомоечная машина	КДМ-130	Увлажнение грунта	1
Теодолит	ГОСТ 10529–96	Определение геометрических параметров земляного полотна	1
Нивелир	ГОСТ 10528–90	Определение геометрических параметров земляного полотна	1
Плотномер динамический	Д-51 (Д-51А) по СТБ 1242–2000	Контроль степени уплотнения грунта	1
Рулетка металлическая	ГОСТ 7502–98	Измерение линейных размеров земляного полотна	1
Трехметровая рейка	РДУ «Кондор»	Определение поперечных уклонов земляного полотна	1
Линейка металлическая ЛМЗ	ГОСТ 427–75	Измерение толщины слоев	1

**Контроль качества и приемка работ.** При приемочном контроле определяют показатели состава (крупность частиц, пластичность пылевато-глинистых грунтов) и состояния (влажность и плотность) грунтов.

При операционном контроле определяют следующие параметры:

- толщину снимаемого плодородного слоя;
- местоположение осевой линии и соответствие высотных отметок;
- плотность грунта естественного заложения в основании земляного полотна;
- влажность применяемых грунтов;
- толщину отсыпаемых слоев насыпи;
- однородность грунта в слоях насыпи;
- плотность грунта в слоях насыпи;
- ровность поверхности;
- поперечный профиль земляного полотна.

При приемочном контроле определяют следующие параметры:

- высотные отметки продольного профиля, мм;
- отклонение от проектного положения оси дороги в плане, см;
- расстояние между осью и бровкой земляного полотна, см;
- поперечные уклоны;
- плотность верхнего слоя.

**Охрана труда и окружающей среды.** Работы по возведению земляного полотна из привозного грунта с послойным уплотнением выполняют в соответствии с требованиями, изложенными в ТКП 45-1.03-40–2006 и ТКП 45-1.03-44–2006. К земляным работам допускаются рабочие и механизаторы, прошедшие инструктаж по технике безопасности и расписавшиеся в соответствующем журнале. Во время строительных работ не допускается загрязнение окружающей среды и нанесение урона природе.

Одновременная работа двух и более катков, двигающихся один за другим, допускается при расстоянии между ними не менее 10 м, а при параллельном движении — не менее 1 м. При движении катка под уклон не следует выключать первую передачу, а при движении на подъем — переключать передачи.

При укатке насыпей грунта расстояние от края вальца катка до бровки насыпи должно быть не менее 1 м.

**Калькуляция затрат труда.** Калькуляции затрат труда на возведение земляного полотна из привозного грунта с послойным уплотнением составляются:

- на разработку грунта в карьере с погрузкой в автомобилесамосвалы экскаватором с ковшом емкостью  $1,2 \text{ м}^3$  (отдельная калькуляция составляется для экскаватора с объемом ковша  $1,5 \text{ м}^3$ ) для грунтов I и II группы;
- на разравнивание и планировку грунта слоем  $0,4 \text{ м}$  в насыпи бульдозером мощностью двигателя  $73...150 \text{ кВт}$ ;
- на уплотнение грунта слоем  $0,4 \text{ м}$  в насыпи вибрационным комбинированным катком массой  $10...13 \text{ т}$  и отдельно калькуляция для катка массой  $14...20 \text{ т}$ ;
- на окончательную планировку верха (автогрейдером) и откосов (экскаватором-планировщиком) земляного полотна;
- на окончательное уплотнение верха земляного полотна вибрационным комбинированным катком массой  $10...13 \text{ т}$  и отдельно для катка массой  $14...20 \text{ т}$ .

Пример составления калькуляции приведен в табл. 20.5.

Таким образом, на основании приведенного примера технологической карты можно сделать вывод, что технологическая карта является частью проекта организации строительства, устанавливает рациональную организацию и технологию производства работ для часто повторяющихся строительных процессов с применением эффективных средств механизации, причем последовательность отдельных операций указывается в технологических схемах.

Таблица 20.5  
Пример калькуляции затрат труда на разработку грунта в карьере с погрузкой в автосамосвалы

Обоснование	Наименование работ	Единица измерения	Объем	Норма затрат труда на единицу измерения, чел.-ч (маш.-ч)	Состав звена (бригады)			Затраты труда на объем, чел.-ч (маш.-ч)
					Профессия	Разряд	Количество	
<b>1. Грунты I группы</b>								
НЗТ. Работы по сооружению земляного полотна на автомобильных дорогах (РУП «Белдорцентр», 2010) § 2.8 табл. 2.11, 6а-7а	Разработка грунта экскаватором с погрузкой в автосамосвалы	100 м <sup>3</sup>	10	1,06 (1,06)	Машинист экскаватора	6	1	10,60 (10,60)
В соответствии с общей частью раздела 9 «Калькуляция затрат труда»	Планировка дна забоя и содержание подъездных путей при разработке грунта в карьере	100 м <sup>3</sup>	10	1,05 (0,35)	Машинист бульдозера	6	1	10,50 (3,50)
					Дорожный рабочий	2	2	
<b>Итого для грунтов I группы</b>								
В том числе затраты труда по отдельным машинам, маш.-ч:								
<ul style="list-style-type: none"> <li>• экскаватор с ковшем емкостью 1,2 м<sup>3</sup></li> <li>• бульдозер мощностью двигателя свыше 73 до 150 кВт (свыше 100 до 200 л.с.)</li> </ul>								
							21,10 (14,10)	10,60
								3,50

## 2. Грунты II, III группы

НЗТ. Работы по сооружению земляного полотна на автомобильных дорог (РУП «Белдорцентр», 2010) § 2.8 табл. 2.11, 66-76	Разработка грунта экскаватором с погрузкой в автосамосвалы	100 м <sup>3</sup>	10,0	1,26 (1,26)	Машинист экскаватора	6	1	12,60 (12,60)
В соответствии с общей частью раздела 9 «Калькуляция затрат труда»	Планировка dna забоя и содержание подъездных путей при разработке грунта в карьере	100 м <sup>3</sup>	10	1,26 (0,42)	Машинист бульдозера Дорожный рабочий	6 2	1 2	12,60 (4,20)
Итого для грунтов групп II, III								
В том числе затраты труда по отдельным машинам, маш.-ч:								
<ul style="list-style-type: none"> <li>• экскаватор с ковшем емкостью 1,2 м<sup>3</sup></li> <li>• бульдозер мощностью двигателя свыше 73 до 150 кВт (свыше 100 до 200 л.с.)</li> </ul>								
								25,20 (16,80)
								12,60 4,20

# Литература

## Нормативные документы

ГОСТ 5180–84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

ГОСТ 8736–93. Песок для строительных работ. Технические условия.

ГОСТ 23558–94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.

ГОСТ 24847–81. Грунты. Методы определения глубины сезонного промерзания.

ГОСТ 25607–94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

ГОСТ 30491–97. Смеси органоминеральные и укрепленные органическими вяжущими грунты для дорожного и аэродромного строительства.

СТБ 943–2007. Грунты. Классификация.

СТБ 1521–2005. Материалы, укрепленные неорганическими вяжущими, для покрытий и оснований автомобильных дорог. Технические условия.

СТБ 1566–2005. Дороги автомобильные. Методы испытаний.

СТБ 2176–2011. Строительство. Земляные сооружения. Контроль степени уплотнения грунтов.

ТКП 200–2009. Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования.

ТКП 313–2011. Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила устройства.

ТКП 45-3.03-112–2008. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования.

ТКП 45-3.03-96–2008. Автомобильные дороги низших категорий. Правила проектирования.

ТКП 45-3.03-19–2006. Автомобильные дороги. Нормы проектирования.

ТКП 028–2006. Автомобильные дороги. Основания из материалов, укрепленных неорганическими вяжущими. Правила устройства.

ТКП 059–2007. Автомобильные дороги. Правила устройства.

РД 0219.1.26–2002. Руководство по рекультивации земель, нарушаемых при дорожном строительстве.

П12-200 к СНБ 5.01.01–99. Контроль степени уплотнения грунтов при возведении земляных сооружений.

П17-02 к СНБ 5.01.01–99. Проектирование и устройство подпорных стен и креплений котлованов.

ТТК 02191.177–2011. Типовая технологическая карта № 1. Возведение земляного полотна из привозного грунта с послойным уплотнением

ТК-07-01–88. Технологическая карта на возведение земляного полотна прицепными грейдерами.

ТК-07-02–88. Технологическая карта на возведение земляного полотна бульдозерами.

ТК-07-03–88. Технологическая карта на возведение земляного полотна скреперами.

ТК-07-04–88. Технологическая карта на возведение земляного полотна грейдер-элеватором.

ТК-07-05–88. Технологическая карта на возведение земляного полотна из грунта притрассовых карьеров скреперами.

ТК-07-06–88. Технологическая карта на возведение земляного полотна из привозного грунта.

ТК-07-07–88. Технологическая карта на возведение земляного полотна типа полувыемки-полунасыпи.

ТК-07-08–88. Технологическая карта на возведение земляного полотна на косогоре крутизной откоса от 1:10 до 1:5.

ТК-07-09–88. Технологическая карта на возведение земляного полотна на косогоре крутизной от 1:5 до 1:3.

ТК-07-10–88. Технологическая карта на возведение земляного полотна на болотах I типа с полным выторфовыванием.

ТК-07-11–88. Технологическая карта на возведение земляного полотна на болотах I и II типа с частичным выторфовыванием.

ТК-07-12–88. Технологическая карта на устройство выемки глубиной до 1 м бульдозером.

ТК-07-13–88. Технологическая карта на устройство выемки глубиной до 1 м скрепером.

ТК-07-14–88. Технологическая карта на устройство выемки глубиной от 1 до 5 м скрепером.

ТК-07-15–88. Технологическая карта на устройство выемки глубиной до 5 м экскаватором.

ТК-07-16–88. Технологическая карта на устройство выемки глубиной до 12 м экскаватором.

ТК-07-17–88. Технологическая карта на устройство выемки глубиной до 12 м экскаватором-драглайном.

ТК-07-18–88. Технологическая карта на устройство выемки глубиной до 12 м звеном скреперов.

ТК-07-19–88. Технологическая карта на устройство выемки глубиной до 12 м бульдозером и экскаватором.

ТК-07-20–88. Технологическая карта на устройство выемки глубиной до 12 м скрепером и экскаватором.

ТК-07-21–88. Технологическая карта на устройство выемки глубиной до 12 м бульдозерами и звеном скреперов.

ТК 0219.148–2009. Технологическая карта на устройство основания дорожной одежды из природной песчано-гравийной смеси, обогащенной щебнем.

СН 25-74. Инструкция по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов. М. : Стройиздат, 1975. 127 с.

СТО 03 Нострой 2.22.23–2012. Автомобильные дороги. Строительство земляного полотна автомобильных дорог. Часть 1. Механизация земляных работ при сооружении земляного полотна автомобильных дорог. Стандарт организации. Национальное объединение строителей.

СТО Нострой 2.25.27–2011. Автомобильные дороги. Строительство земляного полотна автомобильных дорог. Часть 5. Возведение земляного полотна на слабых грунтах. Стандарт организации. Национальное объединение строителей.

### Учебные и справочные издания

Автомобильные дороги Беларуси: энциклопедия / под общ. ред. А.В. Минина. Минск : БелЭН, 2002. 672 с.

*Ананьев В.П.* Инженерная геология: учебник для строительных специальностей вузов / В.П. Ананьев, А.Д. Потапов. М. : Высш. шк., 2002. 511 с.

*Бабаскин Б.Г.* Укрепление грунтов цементом: метод. пособие к лабораторным работам по дисциплине «Специальные вопросы укрепления грунтов» для студентов специальности Т.19.03 «Строительство дорог и транспортных объектов» / Б.Г. Бабаскин, Р.И. Петрашевский. Минск : БГПА, 1998. 56 с.

*Бабаскин Ю.Г.* Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог. Курс лекций / Ю.Г. Бабаскин. Минск : БНТУ, 2002. 197 с.

*Бабаскин Ю.Г.* Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна : учеб. пособие. Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2013. 462 с.

*Бабаскин Ю.Г.* Исследование свойств дорожных бетонов и предложения по их модернизации. Сборник докладов VI Международной конференции «Дорожное строительство и геотехника» / Ю.Г. Бабаскин. Кошица (Словакия), 1997. С. 69–72.

*Бабаскин Ю.Г.* Оценка состава и состояния грунтов при строительстве инженерных сооружений: метод. пособие к курсовой работе по дисциплинам «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна», «Инженерная геология и механика грунтов» для студентов специальностей 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», 1-70 03 02 «Мосты, транспортные

тоннели и метрополитены» / Ю.Г. Бабаскин, Л.В. Козловская. Минск., БНТУ 2011. 170 с.

*Бабаскин Ю.Г.* Свойства грунтов и их влияние на устойчивость инженерных сооружений: метод. пособие к курсовой работе по дисциплине «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог» для студентов специальности Т.19.03 «Строительство дорог и транспортных объектов» / Ю.Г. Бабаскин. Минск : БГПА, 2000. 73 с.

*Бабаскин Ю.Г.* Строительство автомобильных дорог с облегченными и переходными покрытиями : учеб. пособие / Ю.Г. Бабаскин, И.И. Леонович. Минск : БНТУ, 2006. 297 с.

*Бабаскин Ю.Г.* Техничко-экономическое обоснование технологии и организации работ по строительству автомобильной дороги: метод. пособие к курсовому проекту / Ю.Г. Бабаскин, И.В. Дерман. Минск : БНТУ, 2006. 161 с.

*Бабаскин Ю.Г.* Технология дорожного строительства : учеб. пособие / Ю.Г. Бабаскин, И.Н. Вербило. Минск : БНТУ, 2003. 202 с.

*Бабаскин Ю.Г.* Технология строительства дорог. Практикум : учеб. пособие / Ю.Г. Бабаскин, И.И. Леонович. Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2012. 429 с.

*Бабаскин Ю.Г.* Технология строительства дорог : учеб. пособие. Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2014. 534 с.

*Бабаскин Ю.Г.* Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог / Ю.Г. Бабаскин; под ред. И.И. Леоновича. Минск : Технопринт, 2002. 177 с.

*Бабков В.Ф.* Основы грунтоведения и механики грунтов / В.Ф. Бабков, В.М. Безрук. М. : Высш. шк., 1986. 239 с.

*Бабков В.Ф.* Устойчивость земляного полотна автомобильных дорог / В.Ф. Бабков. М. : Высш. шк., 1966. 106 с.

*Безрук В.М.* Дорожные одежды из укрепленных грунтов : учеб. пособие / В.М. Безрук, А.С. Еленович. М. : Высш. шк., 1969. 330 с.

*Вейцман М.И.* Краткий справочник строителя автомобильных дорог / М.И. Вейцман, В.П. Егозов. М. : Транспорт, 1979. 248 с.

*Волоцкой Д.В.* Обеспечение устойчивости земляного полотна автомобильных дорог инъекционным закреплением грунтов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.14. М. : МАДИ, 1984. 38 с.

*Волоцкой Д.В.* Основы глубинного закрепления грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Д.В. Волоцкой. М. : Транспорт, 1978. 119 с.

*Волоцкой Д.В.* Теоретические предпосылки химических способов обеспечения устойчивости земляного полотна / Д.В. Волоцкой. Труды МАДИ. Вып 63. М. : МАДИ, 1973. С. 110–116.

*Волоцкой Д.В.* Химический способ укрепления откосов земляного полотна / Д.В. Волоцкой, Ш.Х. Нетфулов. Автомобильные дороги. № 12. 1973. С. 13–14.

*Вырко Н.П.* Дорожное грунтоведение с основами механики грунтов / Н.П. Вырко, И.И. Леонович. Минск : Вышэйш. шк., 1977. 224 с.

*Вырко Н.П.* Практикум по дорожному грунтоведению / Н.П. Вырко, И.И. Леонович. Минск : Вышэйш. шк., 1980. 255 с.

*Гончарова Л.В.* Основы искусственного улучшения грунтов (техническая мелиорация грунтов) / Л.В. Гончарова. М. : МГУ, 1973. 376 с.

*Горельишев Н.В.* Технология и организация строительства автомобильных дорог / Н.В. Горельишев. М. : Транспорт, 1992.

*Дранников А.М.* Оползни на автомобильных дорогах / А.М. Дранников, Г.В. Стрельцес, Р.П. Купраш. М. : Транспорт, 1972. 157 с.

*Иванов Н.Н.* Строительство автомобильных дорог. Ч. II. Постройка дорожных одежд : учеб. пособие / Н.Н. Иванов. М. : Науч.-тех. издательство автотранспортной литературы, 1957. 337 с.

*Иванов Н.Н.* Строительство автомобильных дорог / Н.Н. Иванов. М. : Автотрансиздат, 1963.

*Истомина В.С.* Фильтрационная устойчивость грунтов / В.С. Истомина. М. : Изд-во лит-ры по стр-ву и архитектуре, 1957. 296 с.

*Казарновский В.Д.* Методические указания по расчету степени устойчивости склонов и откосов при решении геотехнических задач в дорожном, мостовом и аэродромном строительстве / В.Д. Казарновский, З.М. Караулова, З.И. Рогозина. М. : МАДИ, 1987. 62 с.

*Казарновский В.Д.* Основы инженерной геологии, дорожного грунтоведения и механики грунтов / В.Д. Казарновский. М. : Интрансдорнаука, 2007. 284 с.

Карты трудовых процессов строительного производства. Устройство земляного полотна дорожно-строительными машинами. Госстрой СССР. Киев : Будивельник. 1981.

*Львович Ю.М.* Укрепление откосов земляного полотна автомобильных дорог / Ю.М. Львович, Ю.Л. Мотылев. М. : Транспорт, 1979. 159 с.

*Некрасов В.К.* Строительство автомобильных дорог. В 2 т. Т. 1. Транспорт / В.К. Некрасов. М., 1980. 416 с.

*Першин М.Н.* Возведение земляного полотна автомобильных дорог : учеб. пособие / М.Н. Першин, Г.И. Артюхин. СПб. : СПбГАСУ, 2007. 117 с.

*Сиденко В.М.* Технология строительства автомобильных дорог: в 3 ч. / В.М. Сиденко. Киев : Выща шк., 1970.

Справочник по общестроительным работам / под общ. ред. М.И. Смоудинова / М. : Стройиздат, 1974. 372 с.

Строительство автомобильных дорог. Справочник инженера-дорожника / под ред. В.А. Бочина. М. : Транспорт, 1980. 512 с.

Технологические карты. Укрепление откосов насыпей и выемок при строительстве автомобильных дорог. Киев : Будивельник, 1990.

Укрепленные грунты (Свойства и применение в дорожном строительстве) / В.М. Безрук [и др.]. М. : Транспорт, 1982. 231 с.

*Babaskin Y.G.* Sucasny stav a perspectiva rozvoja medzinarodnych ciest v Bieloruakej republike / Y.G. Babaskin, J. Kolvoska. Silnicni obzor № 8. Praha, 1997. P. 252–256.

### Авторские свидетельства и патенты

А.с. 755943 СССР, МКИ<sup>3</sup> Е 02 D 3/12. Способ укрепления грунта / Ю.Г. Бабаскин (СССР). № 2583819/29-33; Заявлено 22.02.78; Опубл. 15.08.80, Бюл. № 30 // Открытия. Изобретения. 1980. № 30. с 25.

А.с. 535391 СССР, МКИ Е 02 D3/12. Установка для укрепления грунта / И.И. Леонович, Н.П. Вырко, Ю.Г. Бабаскин (СССР). № 2077956/33; Заявлено 22.11.74; Опубл. 15.11.76, Бюл. № 42 // Открытия. Изобретения. 1974. № 42. 43 с.

А.с. 613006 СССР, МКИ Е 02 D 3/12. Машина для укрепления грунта / И.И. Леонович, Н.П. Вырко, Ю.Г. Бабаскин (СССР). № 2416532/29-33; Заявлено 03.11.76; Опубл. 30.06.78, Бюл. № 24 // Открытия. Изобретения. 1976. № 24. 12 с.

А.с. 631591 СССР, МКИ Е 02 D 3/12. Установка для укрепления грунта / Ю.Г. Бабаскин, И.И. Леонович, Л.Р. Мытько (СССР). № 2471626/29-33; Заявлено 01.04.77; Опубл. 05.11.78, Бюл. № 41 // Открытия. Изобретения. 1978. № 41. 18 с.

А.с. 747929 СССР, МКИ Е 02 D 3/12. Машина для укрепления грунта / Ю.Г. Бабаскин, И.И. Леонович, Л.Р. Мытько (СССР). № 2575139/29-33; Заявлено 31.01.78; Опубл. 15.07.80, Бюл. № 26 // Открытия. Изобретения. 1980. № 26. 16 с.

А.с. 897943 СССР, МКИ Е 02 D3/12. Установка для укрепления грунта / Ю.Г. Бабаскин (СССР). № 2911940/29-33; Заявлено 15.04.80; Опубл. 15.01.82, Бюл. № 2 // Открытия. Изобретения. 1982. № 2. 26 с.

А.с. 1183608 СССР, МКИ Е 02 D3/12. Установка для укрепления грунта / Ю.Г. Бабаскин, И.И. Леонович (СССР). № 3777986/29-33; Заявлено 06.08.84; Опубл. 07.10.85, Бюл. № 37 // Открытия. Изобретения. 1985. № 37. 37 с.

А.с. 1270214 СССР, МКИ Е 02 D3/12. Рабочий орган машины для упрочнения грунта / Ю.Г. Бабаскин, И.И. Леонович (СССР). № 3818583/29-33; Заявлено 03.12.84; Опубл. 15.11.84, Бюл. № 42 // Открытия. Изобретения. 1984. № 42. 24 с.

А.с. 887722 СССР, МКИ Е 02 D 3/12. Машина для укрепления грунта / Ю.Г. Бабаскин, И.И. Леонович (СССР). № 2901672/29-33; Заявлено 22.02.80; Опубл. 07.12.81, Бюл. № 45 // Открытия. Изобретения. 1981. № 45. 36 с.

А.с. 1361233 СССР, МКИ Е 02 В 3/12. Устройство для предотвращения эрозии земляных сооружений / Ю.Г. Бабаскин, И.И. Леонович,

И.А. Шестаков (СССР). № 4103043/29-15; Заявлено 19.05.86; Опубл. 23.12.87, бюл. № 47 // Открытия. Изобретения. 1987. № 47. 22 с.

А.с. 1170043 СССР, МКИ Е 02 D3/12. Машина для укрепления грунта на откосах / Ю.Г. Бабаскин, Н.П. Вырко, И.И. Леонович, В.Е. Цобкало (СССР). № 3322002/29-33; Заявлено 27.07.81. Опубл. 30.07.85, Бюл. № 28 // Открытия. Изобретения. 1985. № 28. 27 с.

Патент 8020, Е 01С 23/6. Способ ремонта дорог / Ю.Г. Бабаскин. № 20060754. Заявлено 2006.07.19. Опубликовано 2008.02.28.

Патент 11285, Е 01 с 7/00. Способ устройства дорожного покрытия. Ю.Г. Бабаскин. № 20021059. Заявлено 2002.12.19. Опубликовано 2004.06.30.

Патент 11285, Е 01 с 7/00. Способ поверхностной обработки дорожного покрытия. Ю.Г. Бабаскин. № 20021055. Заявлено 2002.12.19. Опубликовано 2004.06.30.

По вопросам приобретения книг обращайтесь:

---

**Республика Беларусь**

ООО «Новое знание»  
220050, а/я 79, Минск.  
Тел./факс: (10-375-17) 211-50-38.  
E-mail: nk@wnk.biz  
<http://wnk.biz>

**Российская Федерация**

*Отдел оптовых продаж «ИНФРА-М»:*  
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в, стр. 1.  
Тел. (495) 280-15-96; факс (495) 280-36-29.  
E-mail: books@infra-m.ru  
*Отдел «Книга – почтой»:*  
Тел. (495) 280-15-96 (доб. 246)

---

Учебное издание

*Высшее образование: Бакалавриат*

**Бабаскин Юрий Георгиевич**

**СТРОИТЕЛЬСТВО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *С.В. Исаенко*

Оригинал-макет подготовлен ООО «Новое знание»

Подписано в печать 25.01.2016.

Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура Петербург.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 20,81. Уч.-изд. л. 17,03.

Тираж 400 экз. Заказ №

ТК 372000-544915-250116

Общество с ограниченной ответственностью «Новое знание».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/276 от 04.04.2014.

Пр. Пушкина, д. 15, ком. 16, Минск, Республика Беларусь.

Почтовый адрес: а/я 79, 220050, Минск, Республика Беларусь.

Телефон/факс: (10-375-17) 211-50-38

E-mail: nk@wnk.biz <http://wnk.biz>

ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»

127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в, стр. 1

Тел.: (495) 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29

E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>

Отпечатано в ОАО «Можайский полиграфический комбинат».

143200, г. Можайск, ул. Мира, 93

[www.oaompk.ru](http://www.oaompk.ru), [www.oaompk.rf](http://www.oaompk.rf), тел.: 8-495-745-84-28, 8-49638-20-685



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**



**“НОВОЕ ЗНАНИЕ”**

Для записей

Наши координаты:  
в Минске: (+375-17) 211-50-38, e-mail: [sale@wnk.biz](mailto:sale@wnk.biz)

**<http://wnk.biz>**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**



**“НОВОЕ ЗНАНИЕ”**

Для записей

Наши координаты:  
в Минске: (+375-17) 211-50-38, e-mail: [sale@wnk.biz](mailto:sale@wnk.biz)

**<http://wnk.biz>**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**



**“НОВОЕ ЗНАНИЕ”**

Для записей

Наши координаты:  
в Минске: (+375-17) 211-50-38, e-mail: [sale@wnk.biz](mailto:sale@wnk.biz)

**<http://wnk.biz>**