

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

С. А. Чудинов

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
И СТРОИТЕЛЬСТВО
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ**

Учебное пособие

Екатеринбург
2022

УДК 625.7/.8(075.8)

ББК 39.311я73

Ч84

Рецензенты:

кафедра проектирования и эксплуатации автомобилей ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС), доцент, канд. техн. наук *А. А. Цариков*;

В. Н. Дмитриев, генеральный директор ООО «Уральский дорожный научно-исследовательский центр» д-р техн. наук, профессор

Чудинов, С. А.

Ч84 Проектирование и строительство автомобильных дорог в сложных природных условиях : учебное пособие / С. А. Чудинов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. – 96 с.

ISBN 978-594984-839-5

Учебное пособие освещает вопросы современных конструктивных, технических и технологических решений при проектировании и строительстве автомобильных дорог в сложных природных условиях: в районах распространения вечной мерзлоты и на участках с развитием склоновых процессов.

Предназначено для обучающихся направлений 08.03.01 и 08.04.01 «Строительство», специальности 08.05.02 «Строительство, эксплуатация и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей». Материалы учебного пособия могут использоваться обучающимися и преподавателями на практических занятиях и при организации самостоятельной работы в виде дополнительных заданий.

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 625.7/.8(075.8)

ББК 39.311я73

ISBN 978-594984-839-5

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2022

© Чудинов С. А., 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ	5
1.1. Проектирование автомобильных дорог	5
1.1.1. Общие требования.....	5
1.1.2. Принципы проектирования земляного полотна.....	6
1.1.3. Требования к грунтам земляного полотна	8
1.1.4. Требования к геотекстильным материалам.....	13
1.1.5. Конструкции земляного полотна	15
1.2. Строительство автомобильных дорог	35
1.2.1. Основные положения по организации строительства и производству работ.....	35
1.2.2. Подготовительные работы	40
1.2.3. Возведение земляного полотна из крупнообломочных и песчаных грунтов.....	42
1.2.4. Возведение земляного полотна из глинистых грунтов.....	44
1.2.5. Возведение земляного полотна с теплоизолирующими и армирующими прослойками	46
1.2.6. Возведение земляного полотна из местных грунтов способом промораживания	51
1.2.7. Укрепление откосов земляного полотна	54
1.2.8. Сооружение водоотводных устройств	54
1.2.9. Контроль за качеством производства и приемка работ	55
ГЛАВА 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ СКЛОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ	57
2.1. Общие положения	57
2.2. Противооползневые сооружения	61
2.2.1. Основные положения	61
2.2.2. Свайные сооружения	67
2.2.3. Анкерные сооружения	76
2.2.4. Гравитационные сооружения	81
2.2.5. Комбинированные сооружения	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	92
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	93

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных разделов курсов «Проектирование и строительство автомобильных дорог в сложных условиях», «Изыскания и проектирование дорог», «Строительство дорог», «Технологические процессы в строительстве» является изучение современных конструктивных, технических и технологических решений при проектировании и строительстве автомобильных дорог в сложных природных условиях: в районах распространения вечной мерзлоты и на участках с развитием склоновых процессов. В данном учебном пособии представлены расчетные схемы и расчетный аппарат, необходимые для проектирования отдельных конструктивно-технологических мероприятий при возведении земляного полотна автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты. Кроме того, изложены рекомендации по проектированию сооружений инженерной защиты на участках автомобильных дорог с развитием склоновых процессов: оползней, обвалов и селей.

ГЛАВА 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

1.1. Проектирование автомобильных дорог

1.1.1. Общие требования

Основными мерами, обеспечивающими устойчивость дорожных конструкций (земляного полотна и дорожной одежды) на местности с наличием вечномерзлых грунтов во всех дорожно-климатических подзонах, являются:

- 1) проектирование земляного полотна, как правило, в насыпях;
- 2) возведение земляного полотна из скальных, крупнообломочных и песчаных грунтов, а при их дефиците из глинистых;
- 3) применение естественных и искусственных теплоизоляционных материалов в основании земляного полотна, теле насыпей и дорожной одежде;
- 4) применение нетканых синтетических (геотекстильных) материалов в основании и теле земляного полотна, в основании дорожной одежды;
- 5) замена переувлажненных грунтов сезоннооттаивающего слоя и льдонасыщенных подстилающих вечномерзлых грунтов соответственно крупнообломочными и песчаными.

Основными мерами, обеспечивающими требуемую устойчивость дорожных конструкций в I_3 дорожно-климатической подзоне на местности без наличия вечномерзлых грунтов, являются следующие:

1. Предпочтительное назначение земляного полотна в насыпях с необходимым возвышением низа дорожной одежды над уровнем поверхностных и грунтовых вод.
2. Возведение земляного полотна, как правило, из дренирующих и других неморозоопасных грунтов, а также из глинистых грунтов с низкими значениями коэффициента влагонакопления.
3. Применение морозозащитных слоев из материалов, не изменяющих объема при промерзании в увлажненном состоянии.
4. Использование теплоизоляционных материалов в основании дорожных одежд.
5. Применение дренирующей и фильтрующей прослойки из геотекстильных материалов.

При проектировании дорожной одежды, как правило, предусматривают:

- обеспечение требуемых прочности и морозоустойчивости в течение заданного срока службы;
- максимальное использование местных дорожно-строительных материалов и отходов производства промышленных предприятий;
- обеспечение ускоренных темпов строительства покрытий благодаря максимальной индустриализации технологических процессов.

При проектировании дорожной одежды расчетом устанавливают равнопрочные варианты и на основе технико-экономического сравнения выбирают наиболее эффективный.

Для участков с особо сложными мерзлотно-грунтовыми условиями (наличие термокарста, крупных включений подземного льда, бугров пучения, солифлюкции, наледей, подтопляемых речных пойм и термокарстовых озер) необходимо разрабатывать варианты индивидуального проектирования и на основе сопоставления их технико-экономических показателей выбирать оптимальные решения.

В проектной документации на участках индивидуального проектирования должны быть приведены мерзлотно-грунтовые разрезы с основными данными о характеристике и температуре грунтов до строительства и прогноз их изменения на период эксплуатации.

1.1.2. Принципы проектирования земляного полотна

При проектировании земляного полотна необходимо руководствоваться следующими принципами использования грунтов основания в мерзлом или талом состоянии:

первый – обеспечение поднятия верхнего горизонта вечной мерзлоты (ВГВМ) не ниже подошвы насыпи и сохранение его на этом уровне в течение всего периода эксплуатации дороги (расчетное состояние грунта основания – мерзлое);

второй – допущение оттаивания грунтов в основании насыпи в период эксплуатации дороги с учетом допустимой осадки покрытия (расчетное состояние грунта основания – талое).

Принцип проектирования выбирают исходя из климатических и мерзлотно-грунтовых условий того или иного участка трассы для назначения конструкций и руководящего возвышения бровки земляного полотна, технологии и сроков производства работ с учетом результатов технико-экономического сравнения вариантов по минимуму суммарных приведенных затрат. Для участков трассы с аналогичными мерзлотно-грунтовыми условиями следует выдерживать единый принцип использования грунтов в основании земляного полотна.

По первому принципу земляное полотно проектируют в I_1 и I_2

дорожно-климатических подзонах на участках, относящихся к 3-му типу местности, для которого характерна среднегодовая температура вечномёрзлых грунтов IV–V категорий просадочности ниже минус 1,5 °С (на глубине нулевых годовых амплитуд). В I₃ дорожно-климатической подзоне проектирование по этому принципу допускается при условии понижения среднегодовой температуры грунта ниже минус 1,5 °С за счет выполнения конструктивных и технологических мероприятий при соответствующем технико-экономическом обосновании.

По второму принципу земляное полотно проектируют во всех дорожно-климатических подзонах на участках, относящихся ко 2-му и 3-му типам местности, для которых среднегодовая температура вечномёрзлых грунтов II–III категорий просадочности ниже минус 1,5 °С. Допускается проектировать земляное полотно по этому принципу на торфяниках IV категории просадочности с расчетным понижением ВГВМ в период строительства и эксплуатации автомобильной дороги.

Во всех случаях при проектировании насыпей на грунтах III–V категорий просадочности должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие наиболее возможное горизонтальное положение ВГВМ как при его подъеме, так и при опускании по поперечному сечению земляного полотна. Наклон ВГВМ, повышающий угол внутреннего трения (3–8°) оттаивающего грунта основания в текучем состоянии, должен быть обоснован расчетами устойчивости.

На участках, относящихся ко 2-му типу местности и сложенных легкоосушаемыми просадочными грунтами, среднегодовая температура которых выше минус 1,5 °С (преимущественно в I₃ дорожно-климатической подзоне), целесообразно предусматривать упрочнение грунтов основания за счет их предпостроечной осадки и осушения при заблаговременном оттаивании.

На сухих участках (1-мерзанием и наличием островной вечной мерзлоты (как правило, I₃ дорожно-климатическая подзона) земляное полотно следует проектировать по нормам II дорожно-климатической зоны. На непроточных болотах допускается предусматривать устройство земляного полотна на промороженных торфяных грунтах.

При назначении конструкций земляного полотна и выборе принципа его проектирования следует учитывать наличие специальных материалов (теплоизоляционных, геотекстильных) и качественных грунтов для возведения насыпей.

1.1.3. Требования к грунтам земляного полотна

Для сооружения земляного полотна необходимо использовать скальные, крупнообломочные, песчаные и глинистые грунты (по классификации ГОСТ 25100-2020 [1]). Предпочтение следует отдавать грунтам, находящимся в талом состоянии.

Скальные, крупнообломочные и песчаные грунты, а также водостойкие местные материалы (отходы дробильно-сортировочных предприятий, хорошо обожженные породы и др.) допускаются для сооружения земляного полотна на всех типах местности без ограничений. При этом максимальный размер ребер отдельных камней в грунтовом массиве, укладываемом в нижнюю часть земляного полотна, не должен превышать $2/3$ толщины уплотняемого слоя, а в верхнюю часть (в пределах слоя толщиной 1 м) – 30 см.

Влажность талых глинистых грунтов не должна превышать допустимой при требуемом коэффициенте уплотнения (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Допустимая относительная влажность при требуемом коэффициенте уплотнения грунта

Грунт	Допустимая относительная влажность грунта, доли оптимальной, при требуемом коэффициенте уплотнения K_y	
	1,0–0,98	0,95–0,92
Супесь легкая	0,93	0,95
Суглинок легкий пылеватый	0,92	0,85
Суглинок тяжелый пылеватый	0,90	0,82

Примечание. Оптимальную влажность грунта W_0 ориентировочно можно определить через влажность на границе текучести W_T : супеси легкой – $W_0 = 0,7 W_T$; суглинка легкого пылеватого – $W_0 = 0,6 W_T$; суглинка тяжелого, глины пылеватой – $W_0 = 0,55 W_T$.

Талые глинистые грунты, используемые для возведения земляного полотна на местности всех типов, должны удовлетворять требованиям табл. 1.2.

Таблица 1.2

Разновидности талых глинистых грунтов, используемые для возведения земляного полотна

	Часть насыпи (глубина слоя от низа дорожной одежды), м	Тип дорожной одежды	Грунты, применяемые для земляного полотна (с содержанием соответственно пылеватых и глинистых частиц), на местности типа		
			1-го	2-го	3-го
С	Верхняя (до 1,5)	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	Супеси легкие, суглинки легкие (не более 35 %, не более 15 %)		Супеси легкие (не более 30 %, не более 10 %)
		Переходный, низший	Супеси, суглинки (не более 50 %, не более 25 %)	Супеси, суглинки (не более 50 %, не более 20 %)	
	Нижняя неподтапливаемая (1,5–6,0)	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	Супеси легкие, суглинки легкие (не более 35 %, не более 20 %)	Супеси легкие (до 35 %, до 15 %)	Супеси легкие (не более 35 %, не более 15 %)
		Переходный, низший	Супеси, суглинки легкие пылеватые (не более 55 %, не более 25 %)		Супеси легкие, суглинки легкие (не более 40 %, не более 20 %)
	Нижняя подтапливаемая (1,5–6,0)	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	Супеси легкие (не более 35%, не более 15%)		
		Переходный, низший	Супеси легкие (не более 35 %, не более 15 %)	Супеси, суглинки (до 70 %)	Супеси легкие, суглинки легкие (до 40 %, до 20 %)

Примечание. Коэффициент морозного пучения глинистых грунтов в верхней части насыпи не должен превышать 3 %, в нижней – 5 %.

Наименьший коэффициент уплотнения грунта K_y (отношение плотности грунта насыпи к максимальной при стандартном уплотнении) следует принимать в соответствии с табл. 1.3.

Таблица 1.3

Наименьший коэффициент уплотнения грунта

Часть насыпи	Тип дорожной одежды	Глубина расположения слоя от низа дорожной одежды, м	Требуемый K_y грунта земляного полотна в дорожно-климатической подзоне		
			I_1	I_2	I_3
Верхняя	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	0–0,4	0,97–0,96	0,98–0,97	1,00–0,98
		0,4–1,0	0,96–0,94	0,97–0,96	0,98–0,97
		1,0–1,5	0,94–0,93	0,96–0,95	0,97–0,96
	Переходный, низший	0–0,4	0,94	0,95	0,96
		0,4–1,0	0,93	0,94	0,95
		1,0–1,5	0,90	0,92	0,93
Нижняя неподтапливаемая	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	1,5–6,0	0,93–0,90	0,94–0,92	0,95–0,93
	Переходный, низший	1,5–6,0	0,90	0,91	0,92
Нижняя подтапливаемая	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	1,5–6,0	0,96–0,93	0,97–0,94	0,98–0,95
	Переходный, низший	1,5–6,0	0,92	0,93	0,95

Примечание. Большие значения K_y принимают для цементобетонных покрытий.

В I_1 дорожно-климатической подзоне при остром дефиците качественных талых грунтов для земляного полотна допускается использовать мерзлые песчаные, глинистые и торфяные грунты. Их уплотняют до норм, указанных в табл. 1.3, после оттаивания в летний период.

Мерзлые песчаные грунты должны иметь характеристики, приведенные в табл. 1.4. Условия их применения и способы разработки назначают по данным табл. 1.5.

Таблица 1.4

Характеристики мерзлых песчаных грунтов, используемых для возведения земляного полотна

Разновидность мерзлого песчаного грунта по степени цементации льдом и льдистости	Суммарная влажность, %	Степень заполнения льдом и незамерзшей водой пор мерзлого грунта, доли единицы	Коэффициент пористости	Коэффициент просадочности при оттаивании	Криогенная текстура	Грунт по степени влажности при оттаивании
Сыпучемерзлый	< 3	0–0,01	0,48–0,63	0	Отсутствует	Воздушно-сухой
Сухомерзлый	3–7	0,01–0,10	0,50–0,66	0–0,01	Массивная	Маловлажный
Твердомерзлый, малольдистый	7–22	0,10–0,80	0,56–0,71	0,01–0,04	Массивная и слоистосетчатая	Маловлажный и влажный
Пластичномерзлый, льдистый	> 22	> 0,80	> 0,71	> 0,04	Слоисто-сетчатая	Водонасыщенный

Таблица 1.5

Условия применения мерзлых песчаных грунтов и способы разработки

Разновидность мерзлого песчаного грунта	Условия разработки грунта землеройными машинами	Содержание мерзлых комьев крупнее 25 см при разработке грунта, %	Условия применения	Минимальный коэффициент уплотнения		Относительная осадка при оттаивании в насыпи, доли единицы
				в мерзлом состоянии	после оттаивания	
Сыпучемерзлый	Без рыхления	0	Без ограничений по технологическим правилам, установленным для талых грунтов	0,95	0,95	0
Сухомерзлый	То же	< 50	Размер мерзлых комьев не должен превышать 30 см. Послойное уплотнение решетчатыми или вибрационными катками	0,92	0,95	< 0,05
Твердомерзлый	С предварительным рыхлением взрывным или механизированным способом	50–80	В смеси с сыпучемерзлым грунтом в нижней части насыпи; содержание мерзлых комьев размером до 30 см не более 50 %. Послойное уплотнение решетчатыми или вибрационными катками	0,87	0,95	< 0,12
Пластично–мерзлый	То же	> 80	Только для заготовки в бурты с последующим оттаиванием и просушкой	Не нормируется		

Мерзлые глинистые грунты должны иметь твердую, полутвердую и тугопластичную консистенцию, устанавливаемую лабораторными испытаниями после их оттаивания. Такие грунты применяют в нижней части насыпи в сочетании с теплоизолирующими слоями из торфа или армирующими слоями из геотекстильного материала.

Допускается использовать в нижней части высоких насыпей также переувлажненные глинистые грунты, если предусмотрено их сохранение в замороженном состоянии в течение всего периода эксплуатации дороги.

В нижней части насыпи и на ее откосах в качестве теплоизолирующих слоев следует применять торфы, которые характеризуются степенью разложения не более 40 % и относятся к слабо- или средне-разложившимся, причем их влажность не должна превышать 600 %.

Физико-механические свойства талых и мерзлых грунтов, используемых в конструктивных слоях земляного полотна, устанавливают в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.

Во всех случаях при оценке пригодности талых или мерзлых грунтов следует учитывать необходимость круглогодичного производства земляных работ на широком фронте с отсыпкой земляного полотна «в задел» для обеспечения требуемых сроков его стабилизации, в том числе после оттаивания и уплотнения.

1.1.4. Требования к геотекстильным материалам

При проектировании дорог в сложных мерзлотно-грунтовых условиях следует рассматривать варианты конструктивно-технологических решений с использованием геотекстильных материалов отечественного и зарубежного производства.

Сравнение вариантов необходимо проводить с учетом функции, выполняемой геотекстильным материалом:

- армирующих прослоек, усиливающих грунтовый массив, повышающих его устойчивость и уменьшающих деформации;
- разделяющих прослоек, исключаящих перемешивание слоев различных по составу и состоянию грунтов, улучшающих условия работы слоев и конструкции в целом;
- дренирующих прослоек, обеспечивающих фильтрацию воды из основания или тела насыпи и ускоряющих ее осадку. Эту функцию могут выполнять только иглопробивные материалы, имеющие толщину не менее 3 мм;

– фильтра, задерживающего грунтовые частицы, перемещаемые потоком воды;

– покрытия, защищающего откосы от водной или ветровой эрозии.

Геотекстильные материалы должны удовлетворять требованиям, указанным в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Характеристики геотекстильных материалов, используемых в сложных мерзлотно-грунтовых условиях

Назначение геотекстильного материала	Разрывная нагрузка, Н/см	Удлинение при разрыве, %	Модуль деформации, Н/см	Толщина, мм	Потери прочности при изгибе, %	Продольная водопроницаемость, м/сут
Армирующая прослойка	70	100	100	4,5	10	–
Разделяющая прослойка	40	150	30	4,5	20	–
Дренирующая прослойка	40	150	30	3,0	–	50
Покрытие откоса	30	150	20	4,5	–	–
Прослойка под сборным цементобетонным покрытием	70	100	70	3,0	–	50
Прослойка на временной дороге	70	120	50	4,5	20	–

К геотекстильным материалам, применяемым в качестве фильтра, предъявляются следующие требования:

- минимальная прочность 80 Н/см;
- водопроницаемость 50 м/сут;
- устойчивость (сохранение прочности) 85 %.

Геотекстильные материалы следует поставлять в рулонах массой не более 150 кг. Полотна материала в рулонах могут быть необрезанными, но не должны иметь пропусков и дыр от иглопробивки: неровнота по массе и прочности не должна превышать 20 %. В случае использования геотекстильного полотна как постоянной конструктив-

ной прослойки устойчивость его (сохранение прочности) к воздействию комплекса природных факторов должна составлять для прослоек, %, не менее: разделяющих – 80, армирующих – 90, прослойки под сборным покрытием – 90, временных – 70.

Геотекстильный материал транспортируют и хранят в условиях, предотвращающих попадание на них воды, солнечных лучей.

Материал, поставляемый в строительную организацию, должен иметь ярлык с указанием предприятия-изготовителя, номера партии, даты изготовления, номера технических условий и основных физико-механических показателей, которые должны соответствовать данным табл. 1.6.

В строительной организации партия материала должна пройти приемочный контроль, заключающийся в визуальном осмотре полотен 3 % рулонов по всей длине из поступившей партии, но не менее двух рулонов. Особое внимание следует обращать на сплошность полотен, отсутствие в них дыр и пропусков от иглопробивки.

1.1.5. Конструкции земляного полотна

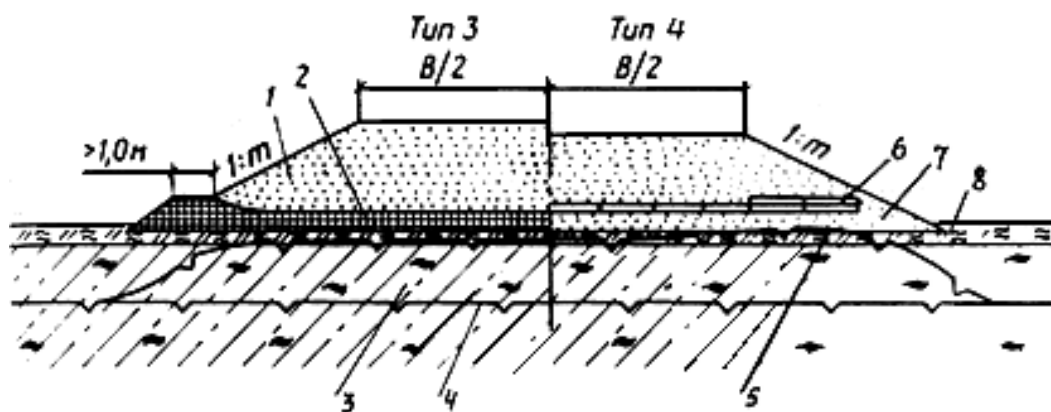
Во всех дорожно-климатических подзонах земляное полотно конструируют в зависимости от типов местности, руководствуясь принятыми принципами проектирования.

Высоту насыпей определяют расчетами на устойчивость и снегонезаносимость по общим положениям СП 34.1333.2021 [2], СП 25.13330.2020 [3] с использованием при необходимости программ численного решения сложных задач на ЭВМ.

На участках местности 3-го типа, сложенных грунтами IV–V категорий просадочности, при проектировании по первому принципу земляное полотно конструируют в насыпи (безрезервный поперечный профиль) из крупнообломочных, а также из талых или сыпуче- и сухомерзлых песчаных грунтов с обязательным сохранением в ненарушенном состоянии мохорастительного (мохоторфяного) покрова в основании. При этом крутизну откосов следует принимать 1:2, а в отдельных случаях (для V категории просадочности) необходимо предусматривать торфяную присыпку откосов (рис. 1.1, тип 1) или устройство берм (рис. 1.1, тип 2). В лесистой местности ширина просеки не должна превышать ширины насыпи по низу.

1 – торфяная присыпка на откосе; 2 – мохорастительный покров; 3 – грунт основания;
4 – ВГВМ в естественных условиях; 5 – то же после постройки насыпи;
6 – грунт насыпи; 7 – берма

При необходимости уменьшения высоты насыпи на участках местности 3-го типа земляное полотно проектируют по первому принципу с устройством теплоизолирующего слоя из естественного или искусственного материала (рис. 1.2). Крутизну откосов назначают 1:1,5 при использовании крупнообломочных, песчаных, сыпуче- и сухомерзлых грунтов, 1:2 – талых глинистых, 1:3 – песчаных пылеватых.



1 – грунт насыпи; 2 – торф в уплотненном состоянии; 3 – грунт основания;
4 – ВГВМ в естественных условиях; 5 – то же после постройки насыпи;
6 – плиты из пенополистирола (пенопласта); 7 – выравнивающий слой
из сыпучемерзлого песка или крупнообломочного грунта мелких фракций;
8 – мохорастительный покров

Для сохранения грунта основания в мерзлом состоянии плиты пенопласта следует размещать преимущественно на глубине, составляющей $1/3$ глубины сезонного оттаивания грунта насыпи, но не выше критической отметки. Критическая глубина определяется исходя из того, что пенопласт должен быть предохранен от раздавливания, а деформация сжатия не должна превышать 10 %.

При дефиците торфяных грунтов для устройства теплоизолирующего слоя допускается проектировать насыпи по первому принципу с использованием мерзлых грунтов, в том числе глинистых, в нижней части (рис. 1.3).

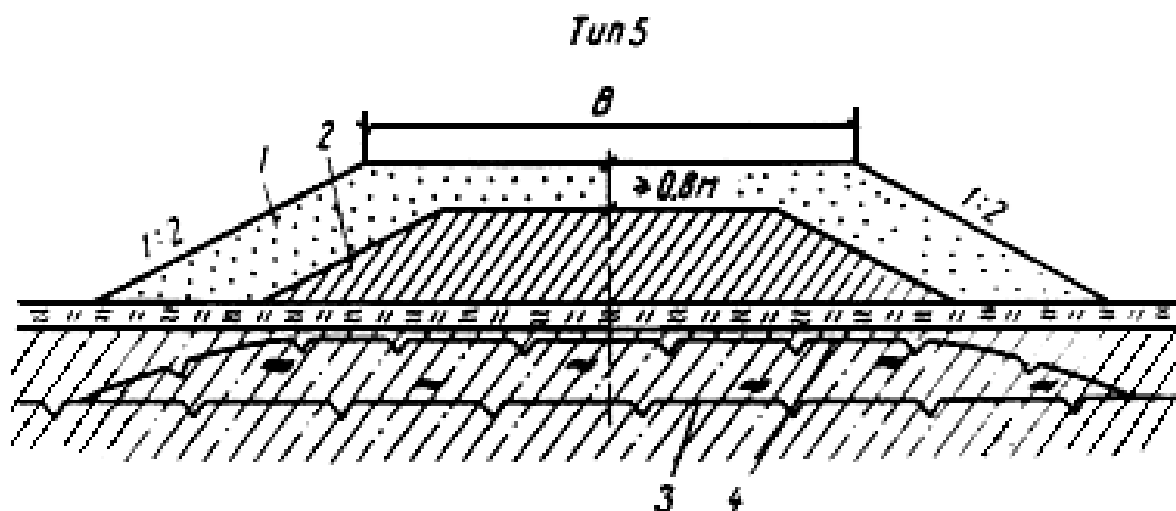


Рис.1.3. Поперечный профиль насыпи с мерзлым грунтом в нижней части:
1 – песчаный грунт; 2 – мерзлый глинистый грунт;
3 – ВГВМ в естественных условиях; 4 – то же после постройки насыпи

На участках с мелкими буграми пучения высотой до 1,0–1,5 м и диаметром до 4–6 м, относящихся к 3-му типу местности, насыпи проектируют по первому принципу, предусматривая нижнюю часть на 0,2 м выше бугра пучения из талого глинистого грунта (рис. 1.4, тип 6) или устройство теплоизолирующего слоя из искусственного материала по выравнивающему песчаному слою. В пределах откосов теплоизоляция должна быть уложена в два слоя (рис. 1.4, тип 7). Крутизну откосов назначают 1:2 при использовании крупнообломочных грунтов, 1:3 – песчаных. При отсутствии искусственных материалов необходимо применять торфяные грунты.

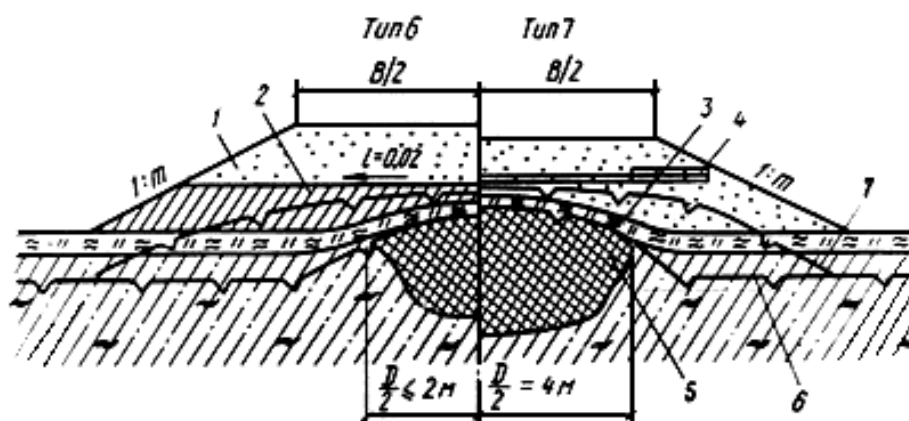


Рис. 1.4. Поперечный профиль насыпи на местности с мелкими буграми пучения:

- 1 – грунт насыпи; 2 – супесь, суглинок, глина; 3 – мохорастительный покров;
4 – плиты из пенополистирола (пенопласта); 5 – льдоминеральное ядро бугра пучения;
6 – ВГВМ в естественных условиях; 7 – то же после постройки насыпи

На плоскобугристых торфяниках, представляющих собой комплекс бугров высотой до 1 м, разделенных мочажинами шириной до 4 м и полосами стока, насыпи проектируют по первому принципу в соответствии с поперечными профилями, приведенными на рис. 1.5 (тип 8, 9).

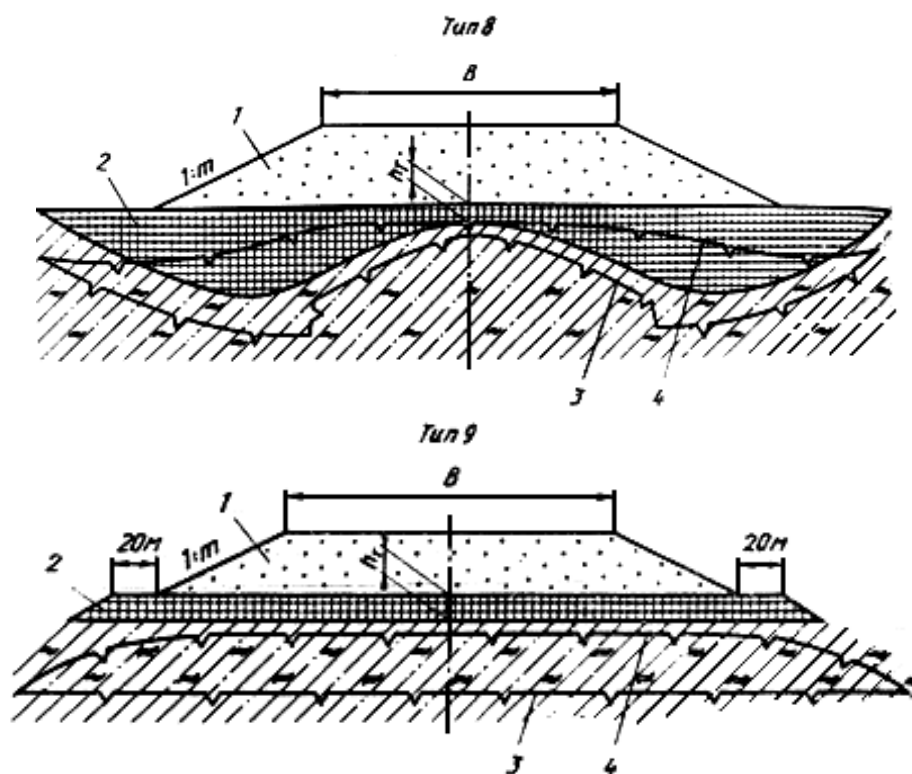


Рис. 1.5. Поперечные профили насыпи на плоскобугристом торфянике:

- тип 8 – при совпадении с торфяными буграми и мочажинами;
тип 9 – при совпадении с полосами стока; 1 – грунт насыпи; 2 – насыпной торф;
3 – ВГВМ в естественных условиях; 4 – то же после постройки насыпи

Для выравнивания ВГВМ предусматривают заполнение всех мочажин торфом в пределах ширины дорожной полосы (с запасом на осадку торфа). При пересечении полос стока толщина торфяного слоя в нижней части насыпи должна быть постоянной, равной не менее 0,3 м в уплотненном состоянии (см. рис. 1.5, тип 9). Крутизну откосов назначают 1:2 при использовании песчаных грунтов, 1:1,5 – крупнообломочных.

На участках с крупными (высотой более 1,5 м и диаметром более 6 м) буграми пучения насыпи необходимо проектировать по первому принципу, предусматривая удаление бугров на глубину залегания торфа в примыкающих к ним мочажинах, последующее заполнение образовавшегося котлована торфом на всю глубину с запасом на его осадку (рис. 1.6). Крутизну откосов назначают 1:3 при использовании песчаных грунтов, 1:2 – крупнообломочных.

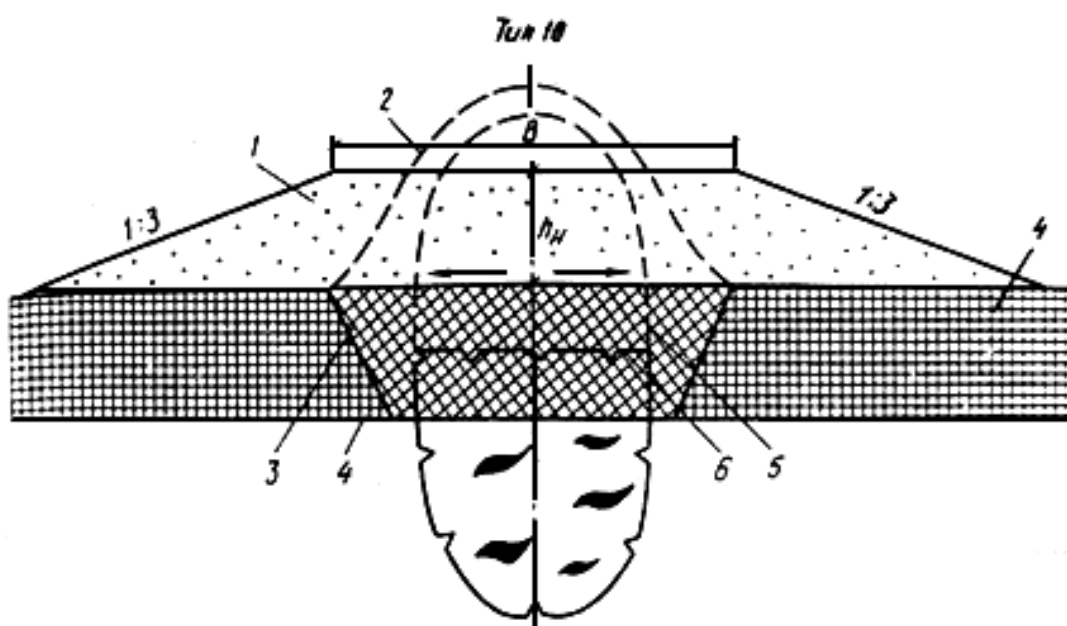


Рис. 1.6. Поперечный профиль насыпи на крупном бугре пучения:
1 – грунт насыпи; 2 – естественный контур удаляемого бугра пучения;
3 – торф, уложенный взамен удаленной части бугра;
4 – сезоннопромерзающий торф мочажин;
5 – положение ВГВМ до постройки насыпи; 6 – то же после постройки насыпи

Высоту насыпей H , м, проектируемых с теплоизолирующим слоем из искусственных материалов в основании, определяют по формуле

$$H = H^H - \frac{h_T}{\frac{\lambda_{\Gamma}}{\lambda_{\Gamma} C} \exp\left[-\left(\frac{1,5}{H^H}\right)^2\right]}, \quad (1)$$

где H^H – нормативная глубина сезонного оттаивания грунта насыпи, м; определяется по СП 25.13330.2020 [3];

h_T – толщина теплоизолирующего слоя, м;

λ, λ_T – коэффициенты теплопроводности соответственно теплоизоляционного материала и грунта насыпи, Вт/(м·К); определяются по СП 25.13330.2020 [3];

C, C_T – удельная теплоемкость соответственно теплоизоляционного материала и грунта насыпи, Дж/(кг·К); определяются согласно СП 25.13330.2020 [3];

1,5 – коэффициент.

Ориентировочную высоту насыпей с теплоизолирующим слоем из искусственных материалов можно принимать по табл. 1.7.

Таблица 1.7

Ориентировочная высота насыпей
с теплоизолирующим слоем

Высота насыпи, м	Толщина теплоизолирующего слоя, см, в основании насыпи из пенополистирола (пенопласта) марки					
	ПС-1	ПС-4	ПС-5	ПС-18	ПС-254	ПСБ СГ
2,5	4,5	4,5	5,0	3,0	6,0	7,0
2,0	6,0	6,0	7,0	4,0	8,0	9,0
1,5	8,0	8,0	9,0	6,0	10,0	12,0
1,0	10,0	10,0	12,0	8,0	12,0	15,0

В I_1 дорожно-климатической подзоне при остром дефиците крупнообломочных грунтов, а также качественных талых, сыпуче- и сухомерзлых песчаных грунтов высокие насыпи (более 2,5 м) допускается проектировать по первому принципу с использованием в их нижней части глинистых грунтов, в том числе твердомерзлых, в соответствии с поперечным профилем, приведенным на рис. 1.7 (тип 11). При этом необходимо предусматривать удаление мохорастительного покрова в пределах подошвы насыпи, с тем чтобы обеспечить дополнительный приток холода от нижележащих вечномерзлых грунтов III–IV категорий просадочности.

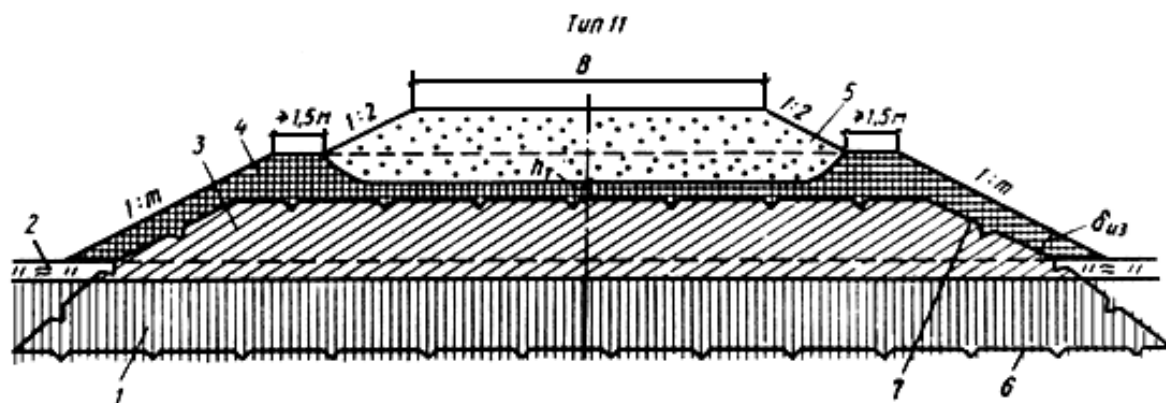


Рис. 1.7. Поперечный профиль насыпи на участках с грунтами III–IV категорий просадочности:

- 1 – сезоннооттаивающий грунт основания; 2 – мохорастительный покров;
- 3 – промороженный или твердомерзлый глинистый грунт;
- 4 – теплоизолирующий слой из торфа или мохорастительного покрова;
- 5 – крупнообломочный или песчаный грунт; 6 – ВГМВ в естественных условиях;
- 7 – то же после постройки насыпи

При дефиците торфяного грунта, применяемого для теплоизоляции откосов, насыпи проектируют с бермами (рис. 1.8, тип 12). Мохорастительный покров в пределах подошвы насыпи следует сохранять.

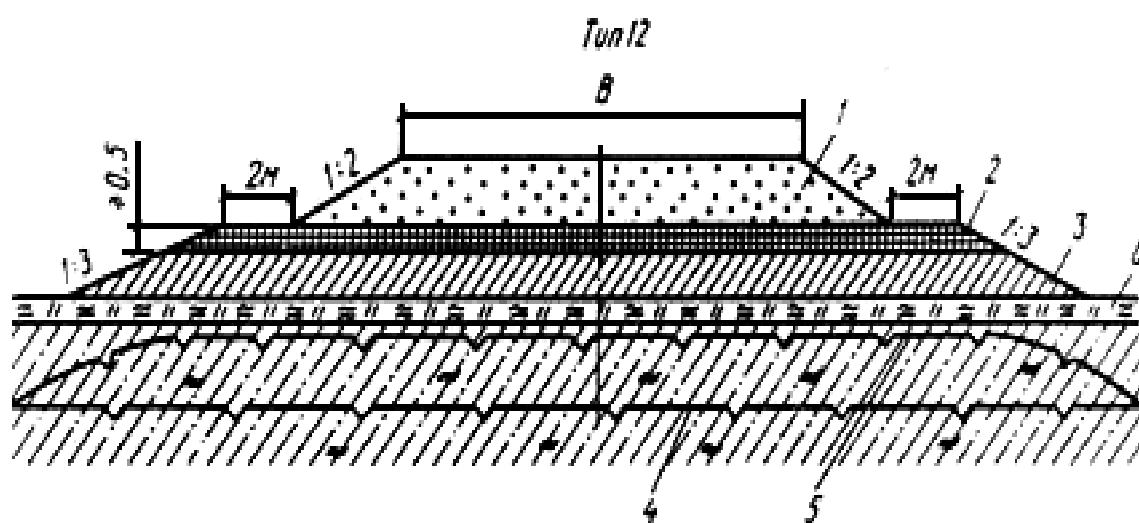


Рис. 1.8. Поперечный профиль насыпи с бермами на участках с грунтами III–IV категорий просадочности:

- 1 – крупнообломочный или песчаный грунт; 2 – теплоизолирующий слой из торфа;
- 3 – мерзлый грунт, в том числе глинистый; 4 – ВГМВ в естественных условиях;
- 5 – то же после постройки насыпи; 6 – мохорастительный покров

Толщину уплотненного теплоизолирующего торфяного слоя, укладываемого на поверхность промороженного глинистого грунта, определяют по формуле

$$h_T = H_T \left(1 - \frac{h_{од}}{H_{од}} - \frac{h_n}{H_n} \right), \quad (2)$$

где H_T , $H_{од}$, H_n – глубина сезонного оттаивания соответственно теплоизолирующего торфяного слоя, дорожной одежды, грунта в верхней части насыпи, м;

$h_{од}$ – толщина дорожной одежды, м;

h_n – толщина верхней части (рабочего слоя) насыпи, м.

Ориентировочную толщину верхней части насыпи из крупнообломочного или песчаного грунта при капитальном типе дорожной одежды и различной толщине теплоизолирующих слоев из торфа определяют по рис. 1.9. Во всех случаях толщина верхней части насыпи должна быть не менее 0,8 м по условию динамической устойчивости дорожной одежды.

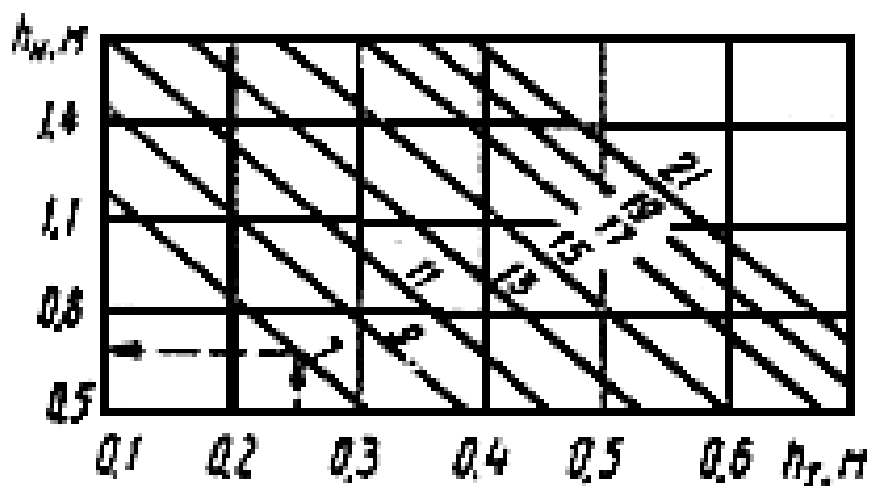


Рис. 1.9. Зависимость высоты верхней части насыпи от толщины теплоизолирующего слоя из уплотненного торфа и среднемесячной максимальной за летний период температуры воздуха с 5%-ной обеспеченностью (цифры на кривых, °С)

Толщину нижней части насыпи из замороженных глинистых грунтов определяют по формуле

$$h_T = H - h_K - h_T, \quad (3)$$

где H – требуемая расчетная высота насыпи, м.

Заложение откосов назначают в зависимости от вида глинистого грунта и степени его влажности (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Значение крутизны откосов насыпей

Грунт	Крутизна откоса при коэффициенте переувлажнения W/W_0				
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Суглинок легкий	1:2,0	1:2,0	1:2,5	1:3,0	–
Суглинок тяжелый	1:2,0	1:2,0	1:2,5	1:2,5	1:2,5
Глина	1:1,5	1:2,0	1:2,0	1:2,0	1:2,0

Толщину теплоизолирующего торфяного слоя $\delta_{из}$, м, укладываемого на поверхность откосов для предотвращения оттаивания промороженного глинистого грунта в нижней части насыпи, рассчитывают по формуле

$$\delta_{из} = H_{г} \frac{\lambda_{из}}{\lambda_{м}}, \quad (4)$$

где $H_{г}$ – глубина сезонного оттаивания глинистого грунта насыпи, м; определяется по СП 25.13330.2020 [3];

$\lambda_{из}$, $\lambda_{м}$ – коэффициенты теплопроводности соответственно мерзлых торфяного и глинистого грунтов насыпи Вт/(м·К); определяются согласно СП 25.13330.2020 [3].

На косогорных участках крутизной до 1:5, сложенных грунтами IV–V категорий просадочности, насыпи проектируют из крупнообломочных и песчаных, в том числе мерзлых, грунтов с бермой из теплоизоляционного материала (мохорастительный покров или торфяной грунт) с низовой стороны (рис. 1.10). Высота бермы должна составлять не менее половины высоты насыпи. Крутизну откосов назначают 1:2.

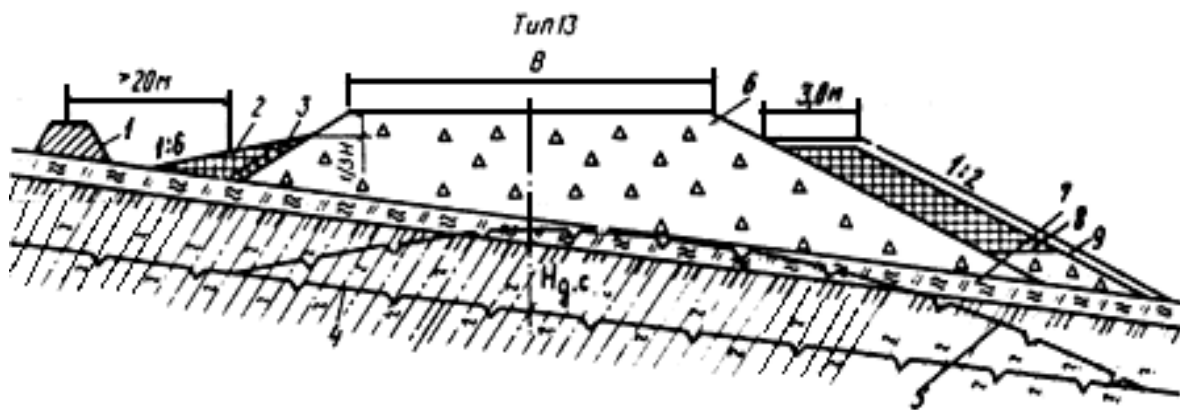


Рис. 1.10. Поперечный профиль насыпи на льдонасыщенном косогоре (крутизна менее 1:5): 1 – мерзлотный валик; 2 – дренирующая присыпка слоем толщиной 0,3–0,4 м; 3 – каменное мощение; 4 – ВГВМ в естественных условиях; 5 – то же после постройки насыпи; 6 – грунт насыпи; 7 – мохорастительный покров; 8 – торф; 9 – глинистый грунт слоем толщиной 0,15–0,20 м

При проектировании по второму принципу земляное полотно конструируют в соответствии с поперечными профилями, приведенными на рис. 1.1–1.8. Допускается проектировать земляное полотно из местных глинистых грунтов из притрассовых или сосредоточенных резервов (рис. 1.11). В таких случаях верхнюю часть насыпи толщиной не менее 0,5 м предусматривают из крупнообломочного или песчаного грунта. При этом запрещается удалять или разрушать мохорастительный покров в основании насыпи. Крутизну откосов назначают 1:2.

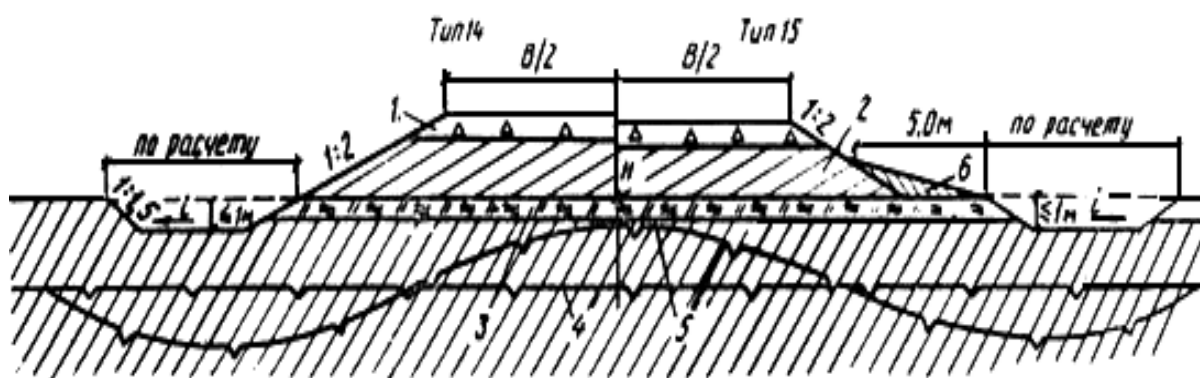


Рис. 1.11. Поперечный профиль насыпи на участках с грунтами II–III категорий просадочности: 1 – щебень или гравий слоем толщиной по расчету на прочность (но не менее 0,5 м); 2 – глинистый грунт; 3 – мохорастительный покров; 4 – ВГВМ в естественных условиях; 5 – то же после постройки насыпи; 6 – бермы

Положение, размер и очертания резервов назначают согласно СП 25.13330.2020 [3]. Крутизну откосов резервов необходимо принимать не более 1:1,5 с учетом рекультивации.

На торфяных грунтах в районах лесотундры при прерывистом и островном характере распространения вечной мерзлоты сливающего типа (I_3 дорожно-климатическая подзона) насыпь допускается проектировать из крупнообломочных и песчаных грунтов по второму принципу в соответствии с поперечным профилем, приведенным на рис. 1.12.

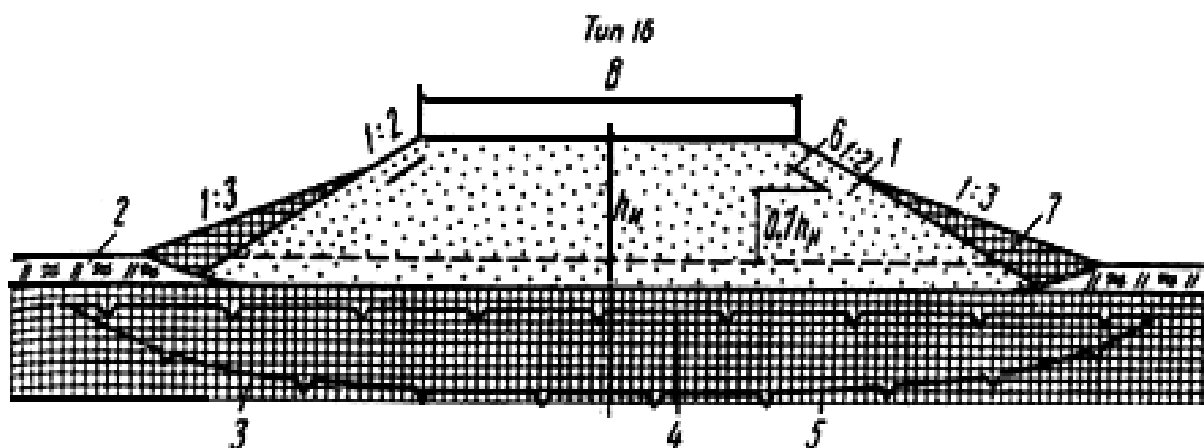


Рис. 1.12. Поперечный профиль насыпи на торфяных грунтах: 1 – грунт насыпи; 2 – мохорастительный покров; 3 – вечномёрзлый торф; 4 – ВГВМ в естественных условиях; 5 – то же после постройки насыпи; 6 – укрепление верхней части откоса торфом; 7 – теплоизоляция откоса торфом

При проектировании по второму принципу разрешается конструировать насыпь с прослойками из геотекстильного материала.

Материал располагают в основании, теле и верхней части насыпи в виде плоских прослоек, обойм и полуобойм. Принцип работы и назначение прослойки, тип конструктивного решения зависят от степени просадочности грунта основания и типа грунта насыпи, сезона производства работ, а также от особенностей структуры и свойств геотекстильного материала.

Разделяющую прослойку следует предусматривать при проектировании насыпи на участках с грунтами II–III категорий просадочности.

При отсыпке насыпи в летний период прослойку располагают в основании (рис. 1.13, тип 17), чтобы уменьшить неравномерность осадки оттаивающего грунта основания и одновременно улучшить условия проезда построенного транспорта, отсыпки и уплотнения нижнего слоя земляного полотна. При отсыпке насыпи в зимнее время прослойку предусматривают на границе между нижней частью из

мерзлого комковатого (глинистого или торфяного) грунта и верхней частью из сухо- или сыпучемерзлого песчаного грунта (рис. 1.13, тип 18), чтобы предотвратить проникание сыпучего материала верхней части насыпи в поры комковатого грунта, уменьшить неравномерность осадки и отвести воду за пределы насыпи при оттаивании грунта в летний период.

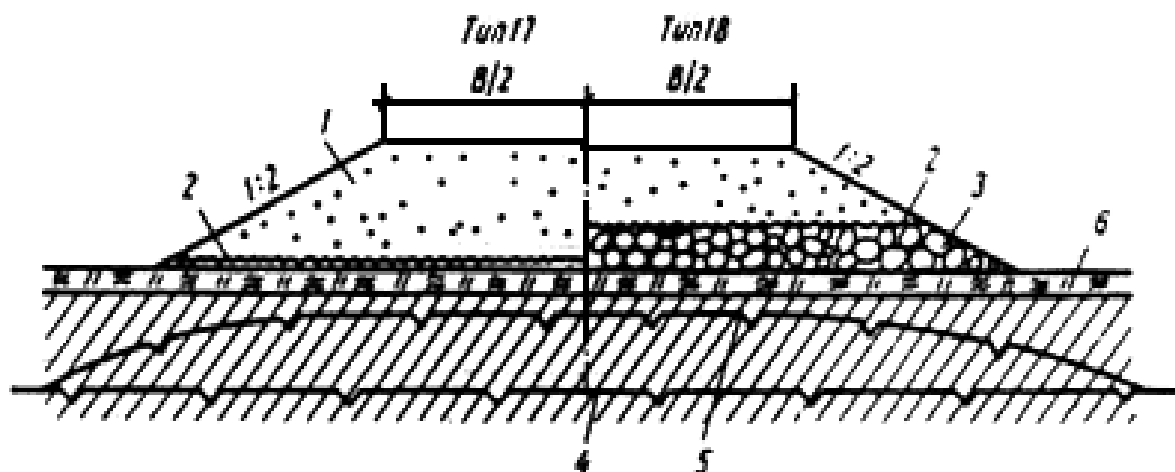


Рис. 1.13. Поперечные профили насыпей с разделяющими геотекстильными прослойками: 1 – грунт насыпи; 2 – слой геотекстиля; 3 – мерзлый комковатый (глинистый или торфяной) грунт в нижней части насыпи; 4 – ВГВМ в естественных условиях; 5 – то же после постройки насыпи; 6 – мохорастительный покров

Полотна располагают сплошь по всей ширине насыпи с поперечным уклоном 4 % и выпуском краев на откосы на 15–20 см.

Армирующую прослойку следует предусматривать при проектировании насыпи на участках, сложенных грунтами III–V категорий просадочности, чтобы повысить общую устойчивость насыпи и предотвратить расползание ее боковых частей, включая откосы, в период оттаивания.

На участках с грунтами III категории просадочности прослойку проектируют в виде вогнутой полуобоймы (рис. 1.14, тип 19) со сплошной укладкой полотен в поперечном направлении в нижней части насыпи. Для насыпи высотой до 2 м в зависимости от угла трения φ геотекстильного материала по подстилающему грунту или (при отсутствии таких данных) от угла внутреннего трения подстилающего грунта минимальную длину ветви полуобоймы с каждой стороны насыпи принимают по табл. 1.9.

На участках с грунтами IV–V категорий просадочности предусматривают прослойку в виде обоймы (рис. 1.14, тип 20) со сплошной укладкой полотен в поперечном направлении в нижней части насыпи.

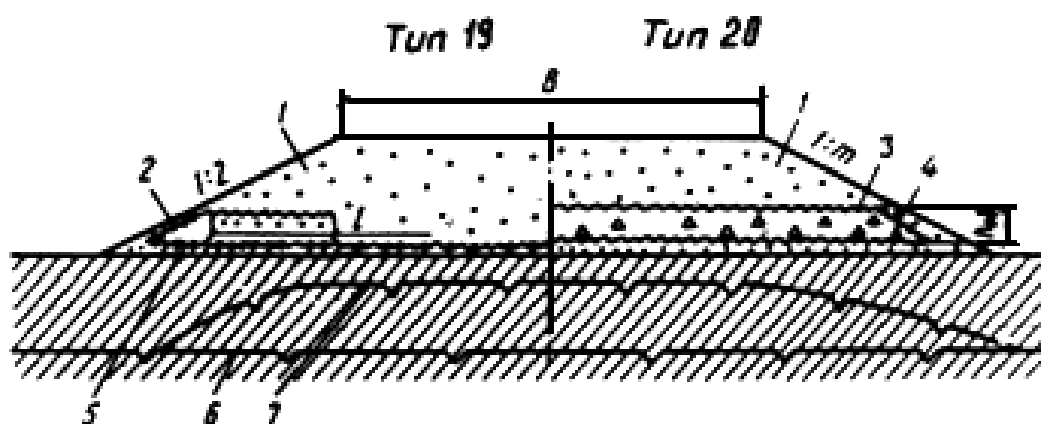


Рис. 1.14. Поперечные профили насыпей с армирующими геотекстильными прослойками: 1 – грунт насыпи; 2 – полуобойма из геотекстиля; 3 – обойма из геотекстиля; 4 – грунт, в том числе твердомерзлый, в нижней части насыпи; 5 – выравнивающий песчаный слой толщиной 0,2–0,3 м; 6 – ВГВМ в естественных условиях; 7 – то же после постройки насыпи

Высота обоймы $h_{об}$ не должна превышать максимально допустимой величины, принимаемой в зависимости от модуля деформации геотекстильного материала E (табл. 1.10).

Таблица 1.9

Минимальная длина полуобоймы l насыпи
в зависимости от угла внутреннего трения

φ , град	5,0	10,0	15,0	20,0
l , м	6,0	4,2	3,4	3,0

Таблица 1.10

Максимально допустимая величина обоймы $h_{об}$
в зависимости от модуля деформации геотекстильного материала

E , Н/см	< 100	100–150	> 150
$h_{об}$, см	50	80	120

При устройстве разделяющих и армирующих прослоек из водопроницаемого в плоскости полотна материала дренарующий эффект про-

слойки, ускоряющий консолидацию насыпи, необходимо учитывать путем снижения требуемой степени консолидации основания на 10 %.

В горно-таежной местности на склонах крутизной от 1:5 до 1:10, сложенных переувлажненными глинистыми грунтами с включениями гравия, щебня, дресвы в количестве до 30 %, предусматривают удаление переувлажненного грунта в низовую сторону. Мощность слоя удаляемого грунта не должна превышать глубины сезонного оттаивания. Высоту насыпи (рис. 1.15, тип 21) назначают расчетом, но не менее 1 м. Нижнюю часть насыпи необходимо отсыпать на высоту 0,5–0,6 м из крупнообломочного грунта с размером ребер отдельных камней до 30 см, а верхнюю – из гравийно-песчаного материала. Крутизну откосов принимают 1:1,5.

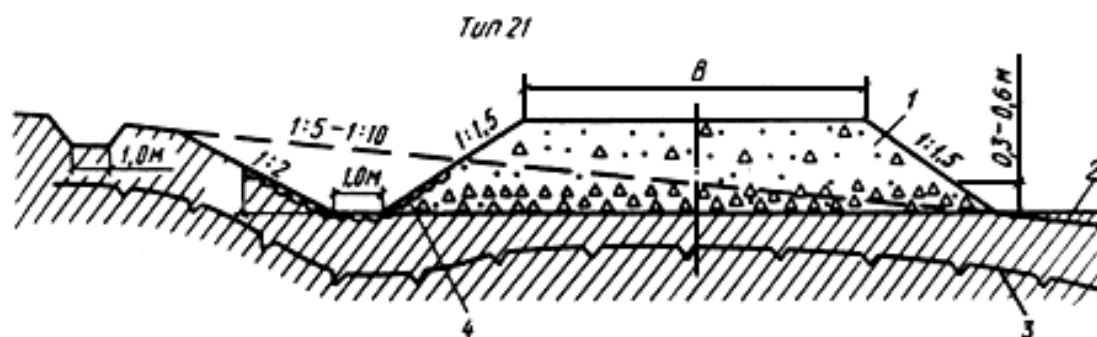


Рис. 1.15. Поперечный профиль насыпи на неустойчивом склоне:
1 – грунт насыпи; 2 – кавальер удаленного грунта; 3 – ВГВМ после постройки насыпи;
4 – укрепление каменной наброской нижней части нагорного откоса и площадки между его подошвой и откосом насыпи

На конусах выносов скальных обломочных пород и склонах, сложенных курумами, при крутизне от 1:5 до 1:10 насыпь проектируют из крупнообломочного грунта (рис. 1.16). Запрещается нарезка уступов в основании насыпи, чтобы не нарушить равновесия курумов. Высоту насыпи назначают расчетом, но не менее 1 м. Крутизну откосов принимают равной 1:1,5.

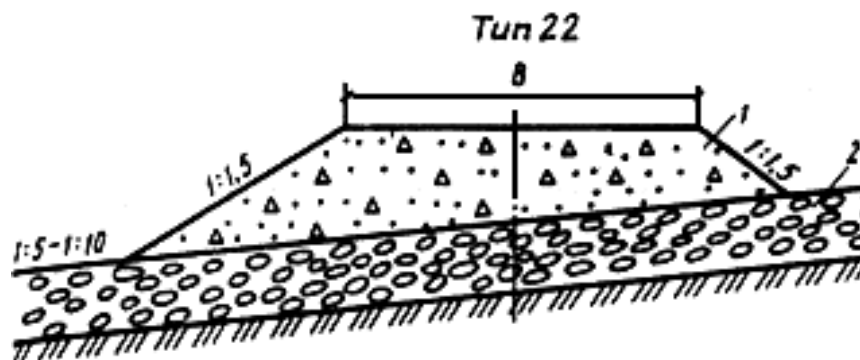


Рис. 1.16. Поперечный профиль насыпи на курумах: 1 – грунт насыпи; 2 – курумы

На участках 2-го и 3-го типов местности, сложенных переувлажненными сезоннопромерзающими минеральными грунтами (преимущественно I_3 дорожно-климатическая подзона), высокие насыпи (на подходах к водотокам) при дефиците песчаных грунтов можно проектировать в соответствии с поперечным профилем, приведенным на рис. 1.17. Предусматривают сохранение мохорастительного покрова в основании насыпи и устройство дополнительного теплоизолирующего слоя из торфа на всю ширину подошвы основания. При отсутствии торфа или большой дальности его транспортирования целесообразно использовать искусственные теплоизоляционные материалы.

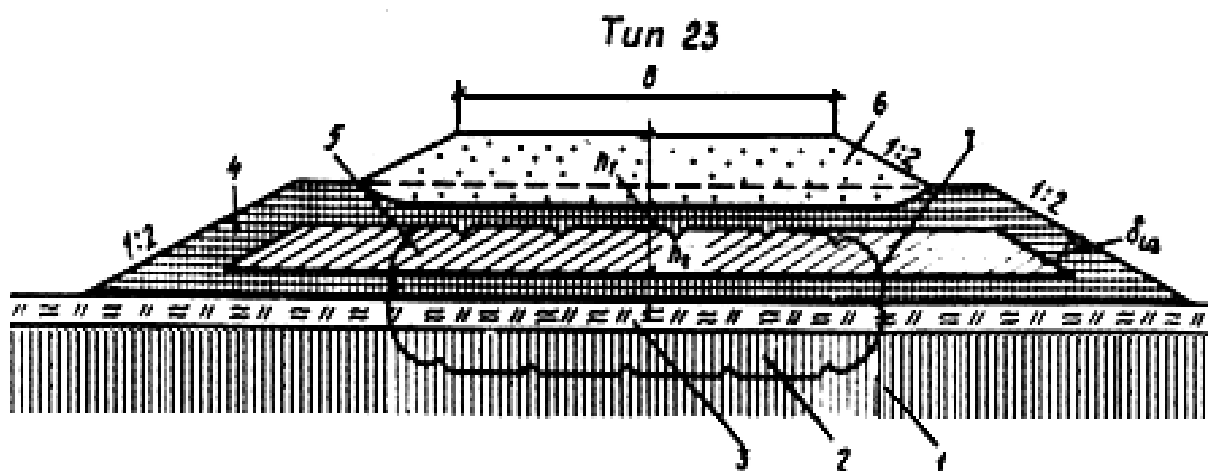


Рис. 1.17. Поперечный профиль насыпи на сезоннопромерзающих минеральных грунтах: 1 – талый минеральный грунт основания; 2 – промороженный слой основания; 3 – естественный мохорастительный слой; 4 – теплоизолирующий торфяной слой в основании и по периметру нижней части насыпи; 5 – промороженный или твердомерзлый глинистый грунт нижней части насыпи; 6 – грунт верхней части насыпи; 7 – положение образовавшейся мерзлоты после постройки насыпи

При прохождении трассой обширных по площади сезоннопромерзающих торфяных болот и мочажин между отдельными крупными буграми пучения (гидролакколитами) земляное полотно допускается проектировать с промораживанием грунтов в основании (рис. 1.18). При этом на болотах I типа проектируют насыпь с поперечным профилем типа 24, а на болотах II и III типов – с поперечными профилями типов 25 и 26.

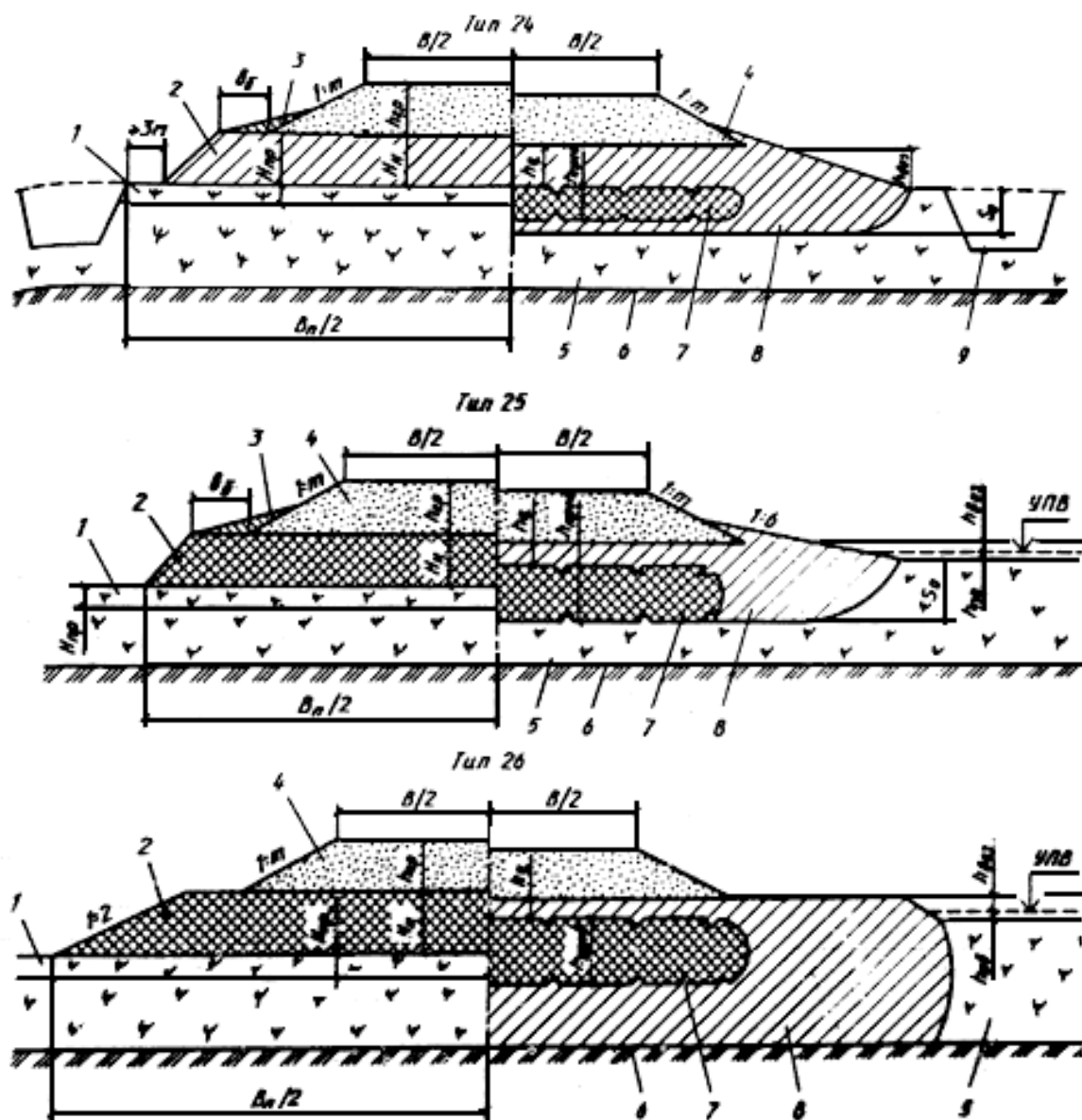


Рис. 1.18. Поперечные профили насыпей на промороженных основаниях (левая часть – состояние конструкции в период строительства, правая – в процессе эксплуатации на конец теплых периодов):
1 – промороженный слой торфяной залежи; 2 – намороженная торфяная плита;
3 – боковые призмы из торфа; 4 – насыпь из минерального грунта;
5 – талый слой торфяной залежи; 6 – минеральное дно болота;
7 – мерзлые слои торфяной плиты; 8 – талые слои торфяной плиты; 9 – боковой резерв

Для торфяной части насыпи принимают серповидный профиль, предусматривая толщину намораживаемой плиты по оси насыпи на 0,3 м больше, чем по бровкам. Крутизну откосов торфяной насыпи назначают 1:2.

При пересечении глубоких логов и полос стока, а также на подходах к мостам через крупные водотоки (при соответствующем технико-экономическом обосновании, учитывающем требования охраны окружа-

ющей среды) допускается на грунтах I–IV категорий просадочности проектировать насыпь, возводимую способом гидромеханизации без обваловывания (рис. 1.19). Крутизну откосов в нижней части принимают 1:10–1:15, а в верхней – 1:2 для песчаного грунта при высоте волны до 0,4 м.

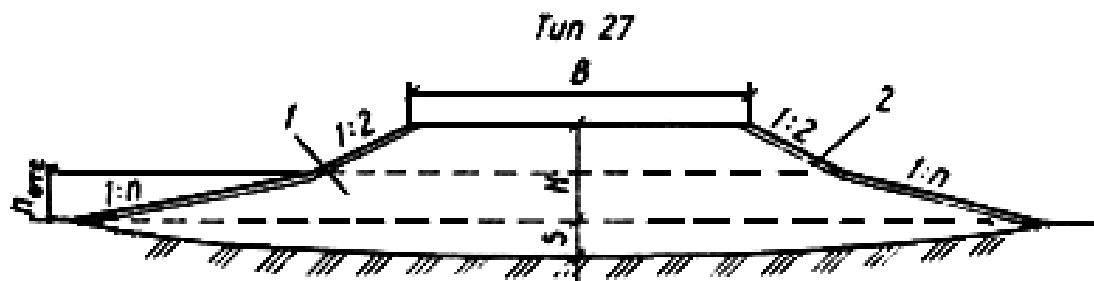


Рис. 1.19. Поперечный профиль насыпи, возводимой способом гидромеханизации: 1 – гидронамытый песок; 2 – укрепление откоса

На затопляемых участках, на подходах к мостам и другим искусственным сооружениям земляное полотно проектируют в насыпи из крупнообломочных и песчаных грунтов. При этом бровку земляного полотна предусматривают выше уровня расчетного горизонта воды не менее чем на 0,5 м плюс высота набега волны.

На участках местности с благоприятными грунтово-гидрогеологическими условиями (скальные, щебенистые, дресвяные, гравийно-песчаные грунты и т. п.) при отсутствии линз и прослоек льда допускается проектировать выемки по СП 34.13330.2021 [2].

На участках местности 2-го типа допускается (при соответствующем технико-экономическом обосновании) проектировать выемки с заменой переувлажненных пылеватых глинистых грунтов песчаными или другими качественными материалами, предусматривая теплоизоляцию откосов или их укрепление геотекстилем (рис. 1.20). Мелкие выемки следует раскрывать или разделять под насыпь (см. рис. 1.20, тип 29).

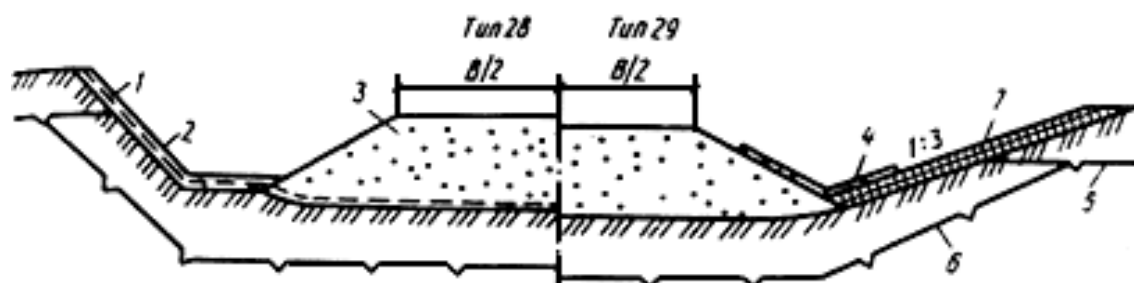


Рис. 1.20. Поперечные профили выемки на местности со сложными гидрогеологическими условиями: 1 – геотекстиль; 2 – торфопесчаная смесь; 3 – грунт замены (насыпь); 4 – бетонные плиты; 5 – ВГВМ в естественных условиях; 6 – то же после постройки выемки; 7 – теплоизолирующий слой из торфа (по расчету)

Толщину слоя заменяемого в выемках грунта принимают исходя из условия устойчивости и обеспечения требуемой прочности дорожной конструкции, но не менее 0,5 м. Крутизну откосов назначают расчетом, но не менее 1:3.

При проектировании выемок глубиной более 2 м в мелких и пылеватых песках, переувлажненных пылеватых суглинках, в легковетривающихся сильнотрещиноватых скальных породах, а также в вечномерзлых грунтах, переходящих при оттаивании в мягкопластичное состояние, предусматривают устройство закуветных полок шириной 0,5–2,0 м (в зависимости от вида грунта, крутизны откосов и глубины выемки) или при соответствующем обосновании более пологие откосы. В скальных слабоветривающихся породах при отсутствии трещиноватости взамен закуветных полок устраивают кюветы.

При проектировании насыпей следует различать строительную осадку, протекающую в теле насыпи и в грунтах основания.

Если отсыпку насыпи предусматривают в зимний период на полную высоту из сухо- и твердомерзлых грунтов, то строительную осадку S_c , см, тела насыпи при оттаивании в теплый период года определяют по формуле

$$S_c = H_{\Gamma} \left(1 - \frac{\gamma_{\text{укл}}}{\gamma_{\text{ст}}} \right), \quad (5)$$

где $\gamma_{\text{укл}}$, $\gamma_{\text{ст}}$ – плотность скелета мерзлого грунта в насыпи, г/см³, соответственно после укладки с уплотнением и после оттаивания и стабилизации; определяется согласно ГОСТ 5180-2015 [4].

При зимней отсыпке высота насыпи должна быть больше рабочей отметки на величину S_c .

Строительную осадку грунтов основания определяют исходя из типа местности, вида грунтов, наличия или отсутствия на поверхности земли мохорастительного покрова и его мощности, прогнозируемой глубины оттаивания при известной высоте насыпи.

Для определения дополнительных объемов земляных работ при летней отсыпке (при составлении проектной документации) ориентировочно строительную осадку грунтов основания насыпи высотой до 2 м при их оттаивании на глубину до 2,5 м принимают по табл. 1.11.

Таблица 1.11

Ориентировочная строительная осадка грунтов основания насыпи высотой до 2 м, при их оттаивании на глубину до 2,5 м

Тип местности	Относительная влажность грунта основания, доли W_T	Коэффициент консистенции	Грунт основания	Строительная осадка грунтов основания, см
Сухие места	< 0,77	< 0,5	Глина пылеватая	10
			Суглинок пылеватый	6
			Супесь легкая	5
			Песок пылеватый	4
Сырые места	0,77–1,0	0,5–1,0	Глина пылеватая	20
			Суглинок пылеватый	15
			Супесь пылеватая	10
			Песок пылеватый	6
Мокрые места	> 1,0	> 1,0	Глина пылеватая	30
			Суглинок пылеватый	20
			Супесь тяжелая пылеватая	15
			Песок пылеватый	10

Примечания:

1. При зимней отсыпке насыпи на проектную высоту данные таблицы могут быть снижены на 20 %.

2. Величину осадки мохорастительного покрова следует принимать равной 50 % первоначальной толщины, а мохоторфяного слоя – 40 % расчетной глубины его оттаивания.

Объем дополнительных земляных работ (вследствие строительной осадки грунтов основания) принимают равным произведению усредненной величины осадки на ширину насыпи по низу и на длину участка.

Откосы насыпи и выемки следует укреплять. Тип укрепления назначают в зависимости от физико-механических свойств грунтов, слагающих откосы, наличия местных материалов, высоты насыпи, глубины выемки, гидрологического режима подтопления в соответствии с требованиями СП 34.13330.2021 [2].

Для защиты от водной и ветровой эрозии откосы насыпи (выемки), сложенные песчаными пылеватыми и глинистыми грунтами, следует укреплять слоем торфопесчаной смеси (40 % торфа, 60 % песка) толщиной 10–20 см. В смесь вводят семена многолетних трав.

При отсутствии торфяного грунта можно предусматривать (на основе технико-экономических расчетов) укладку сплошного слоя геотекстиля с обязательным закреплением полотнищ на обочинах и подошве насыпи (бровке выемки) и последующее устройство защитного (от солнечной радиации) слоя толщиной 10–15 см из песка или гравийно-песчаной смеси (рис. 1.21, тип 30).

При необходимости можно укреплять сплошными геотекстильными слоями, выполняющими противоэрозионную или армирующую функцию, и обочины и откосы (рис. 1.21, тип 31). Противоэрозионную роль выполняют также боковые поверхности полуобойм и обойм из геотекстиля (см. рис. 1.14).

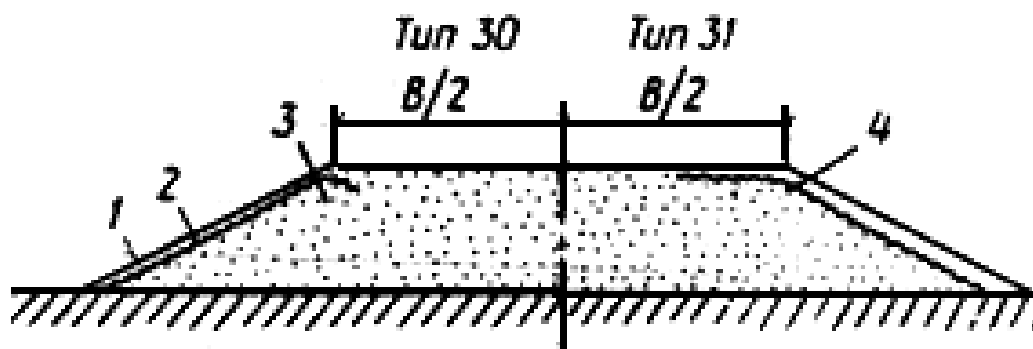


Рис. 1.21. Поперечный профиль насыпи с укреплением откосов и обочин геотекстилем:
1 – защитный песчаный слой толщиной 10–15 см;

2 – геотекстиль на откосе; 3 – грунт насыпи; 4 – геотекстиль на обочине

Обочины земляного полотна следует укреплять гравийно-песчаным или щебеночным материалом, шламом, шлаком и другими отходами промышленного производства, геотекстилем (см. рис. 1.21, тип 31), а также бетонными плитами на основе технико-экономических расчетов.

В проектах автомобильных дорог необходимо предусматривать комплекс мероприятий по охране окружающей среды (рекультивацию

карьеров и резервов, восстановление нарушенной техногенным воздействием прилегающей к дорогам полосы отвода, восстановление нарушенных территорий в местах дислокации дорожно-строительных подразделений) с определением требуемых объемов производства работ и их сметной стоимости.

1.2. Строительство автомобильных дорог

1.2.1. Основные положения по организации строительства и производству работ

Строительство автомобильных дорог осуществляют в соответствии с проектом производства работ (ППР), в котором отражены сроки и технология выполнения рабочих процессов с учетом принятых принципов проектирования, конструкций дорог, местных климатических и мерзлотно-грунтовых условий.

На участках, где земляное полотно запроектировано по первому принципу, сроки проведения подготовительных и основных работ должны строго соблюдаться. Запрещается переносить отдельные виды работ на более поздние сроки, не предусмотренные проектом. Изменения, необходимость которых возникает в процессе строительства (производство работ в летний период и пр.), могут быть допущены после согласования с организацией, разработавшей проект, и по решению утвердивших его учреждений.

При разработке ППР следует исходить из того, что основной объем земляных работ должен быть выполнен в зимнее время, когда можно максимально использовать естественный холод для промораживания грунтов в основании и тем самым снизить техногенное воздействие на них, что отвечает требованиям охраны окружающей среды.

В течение короткого летнего периода необходимо:

- довести земляное полотно, отсыпанное в зимний период, до требуемых параметров путем уплотнения тела насыпи, планировки откосов, укрепительных работ;
- заготовить грунт, в том числе гидромеханизированным способом, для работ в зимний период;
- выполнить укрепительные и отделочные работы на искусственных сооружениях;
- устроить дорожное основание и покрытие;
- заготовить асфальто- и цементобетонные смеси в необходимом объеме путем организации работы заводов в 2–3 смены.

В зимний период необходимо:

- построить автозимники, возвести временные здания и сооружения, расчистить дорожную полосу и подготовить карьеры дорожно-строительных материалов, в том числе грунтовые, для разработки грунта зимой и в следующий летний период;

- доставить на объекты машины, механизмы, строительные и горюче-смазочные материалы;

- произвести буровзрывные работы на участках с мерзлыми грунтами, которые при оттаивании переходят в текучее состояние;

- соорудить временные землевозные дороги между карьерами и трассой, возвести насыпи из скальных, а также несмерзающихся галечно-гравийных и песчаных грунтов на подходах к мостам, на марях, болотах и других участках со слабыми основаниями; отсыпать бермы и утеплить откосы;

- устроить дорожные одежды: заготовить, переработать и вывезти каменные материалы на трассу и заводы (АБЗ, ЦБЗ); изготовить сборные железобетонные изделия; устроить щебеночное (гравийное) основание; уложить сборные железобетонные плиты, а также монолитное цементобетонное основание с применением методов зимнего бетонирования.

Для выполнения земляных работ в заданные сроки должны быть укомплектованы три отряда машин: по выполнению подготовительных работ и разработке грунта в карьерах; по возведению земляного полотна, запроектированного по первому принципу (преимущественно в зимнее время); по возведению земляного полотна, запроектированного по второму принципу (в летний и частично в зимний период).

При комплектовании отрядов учитывают реальную продолжительность строительного сезона, которая зависит от климатических условий и вида применяемых грунтов.

Насыпи из крупнообломочных или песчаных грунтов возводят круглогодично. Расчетное количество рабочих смен T_p в этом случае определяют по формуле

$$T_p = (T_{\Gamma} - T_{\Pi} - T_{\text{М}})K_{\text{см}} , \quad (6)$$

где T_{Γ} – календарная продолжительность года, сут;

T_{Π} – количество выходных и праздничных дней в году;

$T_{\text{М}}$ – количество нерабочих дней из-за неблагоприятных метеорологических условий (температура воздуха ниже минус 35 °С);

$K_{\text{см}}$ – коэффициент сменности работы машин.

Продолжительность сезона, в течение которого устраивают земляное полотно из глинистых грунтов боковых резервов, определяют с учетом длительности безморозного периода, скорости оттаивания грунтов, количества дней с осадками, приводящими к переувлажнению грунтов, и времени их просыхания.

Количество рабочих смен рассчитывают по формуле

$$T_p = (T_{б.м} - T_{от} - T_{п}^{б.м} - n_d - n_d T_{пр}) K_{см}, \quad (7)$$

где $T_{б.м}$ – длительность безморозного периода (между датами устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C), сут;

$T_{от}$ – время, необходимое для оттаивания грунтов на глубину 10–15 см, когда можно начинать их разработку, сут;

$T_{п}^{б.м}$ – количество праздничных и выходных дней за безморозный период;

n_d – число дней с количеством осадков, приводящим к переувлажнению грунтов в слое 10–15 см: для супесей и суглинков легких – 5 мм/сут, суглинков тяжелых и глин – 8 мм/сут и более;

$T_{пр}$ – время, необходимое для просыхания грунта после дождя, сут.

При прохождении трассы вблизи рек и крупных озер заготовку грунта для устройства земляного полотна можно вести способом гидромеханизации, если при этом не прогнозируется экологическое нарушение.

Водопропускные трубы следует строить с обеспечением непрерывности всего комплекса работ – от разработки котлована до засыпки труб грунтом в соответствии с графиком.

Если земляное полотно и дорожную одежду устраивают в течение одного календарного года, то разрыв по времени между окончанием земляных работ и началом устройства дорожной одежды устанавливает проектная организация.

Дорожную одежду со сборным покрытием устраивают, как правило, поточным методом. В тех случаях, когда работы в один поток организовать невозможно, их следует разделить на два потока. Первый включает устройство основания и выравнивающего слоя, монтаж и посадку плит, второй – сварку стыковых соединений, омоноличивание стыков, заделку швов и укрепление обочин.

Для обеспечения работы АБЗ при пониженных положительных и отрицательных температурах воздуха утепляют сушильные и смеси-

тельные барабаны, трубопроводы; осуществляют паробогрев битумо-, водо-, топливопроводов и бачков для дозирования вяжущих; утепляют кабины операторов и транспортеры, подающие минеральные материалы.

Цементобетонные смеси при отрицательных температурах приготавливают на утепленных ЦБЗ. Утеплению подлежат емкости для воды, водо- и паропроводная сети, пневмоаппараты, краны, насосы, контрольные приборы и установки для приготовления растворов солей и ПАВ. Для подогрева материалов необходимо отапливать галереи с транспортерами для их подачи, а также бункерное, дозировочное и смесительное отделения завода.

Комплекты машин и механизмов для укладки и уплотнения цементобетонной смеси должны быть подготовлены для работы при отрицательных температурах.

Машины для выполнения земляных работ следует выбирать с учетом природно-климатических и мерзлотно-грунтовых условий, влияющих на их эксплуатационные показатели. Для земляных работ, кроме машин обычных модификаций, применяют механизмы в северном исполнении с рабочими органами и ходовой частью повышенной хладостойкости, а также машины повышенной проходимости (табл. 1.12).

В тундровых и лесотундровых районах ввиду сложности, изменчивости мерзлотно-грунтовых условий и различных в связи с этим требований к срокам производства работ земляное полотно необходимо подготавливать к устройству дорожной одежды отдельными законченными участками.

На участках, где земляное полотно полностью стабилизировалось, дорожную одежду следует устраивать в одну стадию согласно проекту.

В случае необходимости пропуска транспорта до момента полной стабилизации земляного полотна допускается устраивать дорожную одежду в две стадии. На первой стадии укладывают дорожную одежду переходного типа с покрытием из необработанных гравийных, щебеночных или других материалов, в частности из отвального белитового шлама либо при технико-экономическом обосновании из железобетонных плит без сварки и омоноличивания стыков. На второй стадии после завершения стабилизации земляного полотна его доводят до проектных отметок с уплотнением, устраивают основание и покрытие.

Таблица 1.12

Рекомендуемые марки машин с учетом природно-климатических
и мерзлотно-грунтовых условий

Машины	Рекомендуемые марки машин		
	в северном исполнении (температура воздуха минус 60 °С)	в повышенной хладостойкостью основных узлов (температура воздуха минус 40 °С)	повышенной проходимости
Экскаваторы (емкость ковша, м ³)	Э-652БХЛ (0,65), ЭО-5111ЕХЛ (1,0), Э-6112БХЛ (1,25), Э-2505СА-1 (2,5), Э-2505 (2,5)	Э-652Б (0,65), ЭО-4121 (1,0), Э-10011Е (1,0), ЭО-5132 (1,6), Э-2503 (2,5)	Э-304В (0,4), Э-5015А (0,5), ТЭ-3М торфяной (0,5), МТП-71 торфяной (1,0)
Бульдозеры на тракторе (мощность, кВт)	ДЗ-35С-Т-180Г (132), ДЗ-34С-ДЭТ-290М (184), ДЗ-59-Т-330 (243), ДЗ-27С-Т-130.1.Г-1 (118), ДЗ-110ХЛ-Т-130.1.1-1 (118)	ДЗ-54С-Т-100МЗГП (79), ДЗ-118-ДЭТ-250М (184)	ДЗ-18-Т-100МЗГП (79), ДЗ-18А-Т- 100МЗГП (79)
Бульдозеры- рыхлители на тракторе (мощ- ность, кВт)	ДП-22С-Т-180КС2 (132), ДЗ-94С-Т-350 (243), ДЗ-116ХЛ-Т-130.1.Г-1 (118), ДЗ-117ХЛ-Т-180КС (132)	ДЗ-116А-Т-130.1.Г-1 (118), ДЗ-117-Т-130.1.Г-1 (118)	—
Автогрейдеры (мощность, кВт)	ДЗ-31-1ХЛ (96)	ДЗ-98 (184), ДЗ-98-0-1 (184)	—
Катки	Навесное оборудование на тракторе Т-130АС	ДУ-37Б полуприцепной к трактору Т-158 (15,5), полуприцепной к трактору Т-150К (15,0)	—

1.2.2. Подготовительные работы

В состав подготовительных работ входят:

- создание заказчиком геодезической разбивочной основы;
- восстановление и закрепление трассы с учетом требований «Руководства по сооружению земляного полотна автомобильных дорог» [5];
- расчистка дорожной полосы и карьеров от леса, кустарника, снега;
- удаление мохорастительного покрова с полосы резервов и карьеров;
- устройство нагорных и осушительных канав;
- строительство подъездных дорог к карьерам;
- заготовка мохорастительного покрова и торфа для теплоизолирующих слоев.

Сроки выполнения подготовительных работ назначают в зависимости от типа местности и принятого принципа проектирования земляного полотна.

На участках, где земляное полотно запроектировано по первому принципу, лес, кустарник, бугры пучения удаляют только в зимний период на ширину основания насыпи, при этом сохраняют снежные отложения толщиной до 20 см. Запрещается корчевать пни на просеке.

Не допускается устройство просеки «в задел». Мохорастительный покров в основании насыпи и в пределах охранной зоны, границы которой устанавливают при проектировании (ориентировочно до 100 м в обе стороны от оси трассы), должен быть сохранен.

Проезд дорожных машин и технологического транспорта по просеке разрешается только в зимний период.

На участках, где земляное полотно запроектировано по второму принципу, лес и кустарник удаляют в зимнее время, мохорастительный покров с поверхности резерва – сразу же после его оттаивания в весенний период.

Возможность использования грунтов боковых резервов определяется на основе прогноза их просыхания, который позволяет устанавливать сроки разработки резервов (на следующий год или текущим летом).

Разработку и перемещение мохорастительного слоя с полосы резервов выполняют по схеме, приведенной на рис. 1.22. В пределах ширины насыпи понизу этот слой сохраняют в ненарушенном состоянии, не наезжая на него бульдозерами. На участках 1-го типа местности, где предусмотрено предпостроечное оттаивание грунтов основания, мохо-

растительный слой удаляют на всю ширину дорожной полосы бульдозером в поперечном направлении в обе стороны от оси дороги.

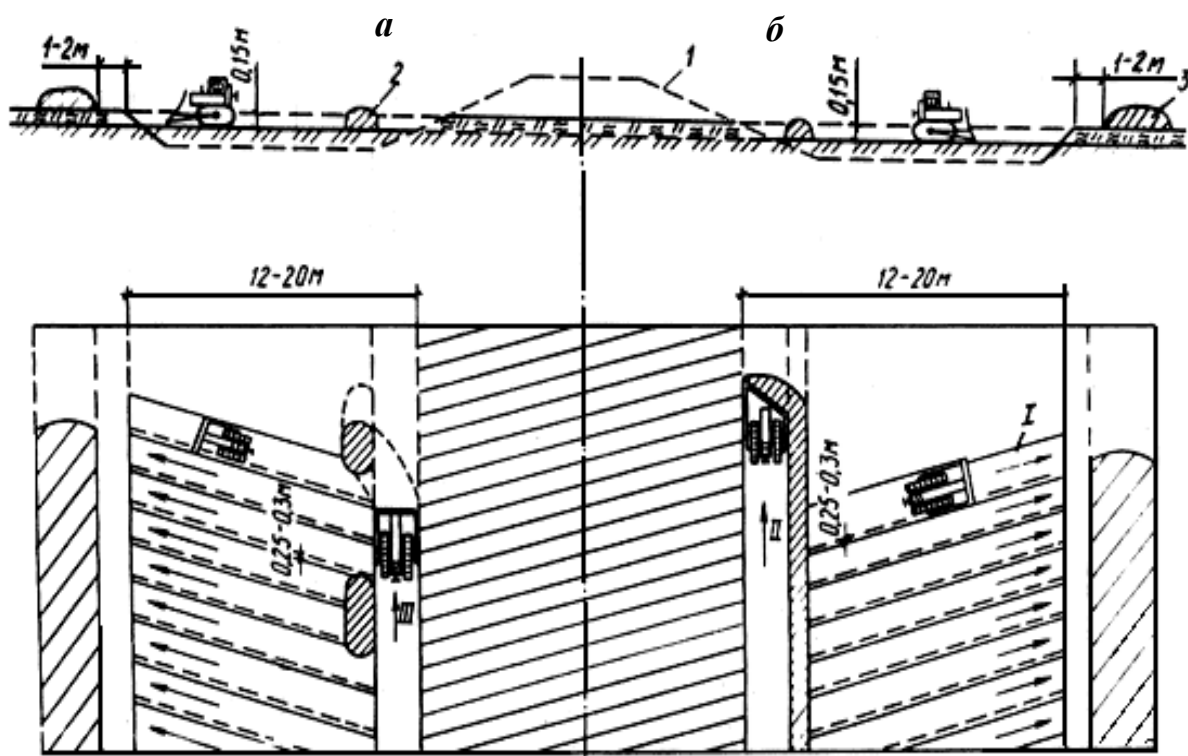


Рис. 1.22. Схема удаления мохорастительного покрова с поверхности резервов при сохранении его в основании насыпи:

- а — с укладкой промежуточных валиков бульдозером с неповоротным отвалом;
- б — с устройством сплошного промежуточного вала универсальным бульдозером; 1 — контур насыпи; 2 — промежуточные валы;
- 3 — мохорастительный покров, уложенный в валы по обе стороны резервов;
- I—III — последовательность работы бульдозеров

В качестве подъездных дорог к карьерам зимой используют обычные автозимники, а в летнее время — автозимники с продленными сроками эксплуатации или временные дороги с шириной насыпи 8 м и высотой не менее 0,6 м. Конструкции автозимников назначают в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

В районах со сплошным распространением мерзлоты мохорастительный покров или торф для теплоизолирующих слоев заготавливают зимой рыхлением или заблаговременно ранней весной путем послойной разработки его бульдозерами с перемещением в валы и призмы для просушивания. Территория, где намечена заготовка теплоизоляционного материала, должна быть удалена от оси дороги на расстояние, безопасное для сооружения по условиям его устойчивости: на участках 2-го типа местности — не менее чем на 50 м, 3-го типа — не менее чем

на 100 м. Призмы теплоизоляционного материала должны быть уложены большей стороной по направлению преобладающих ветров.

Перед началом основных земляных работ обследуют район проложения трассы для выявления дополнительных карьеров грунтов и уточнения условий и технологических особенностей производства работ.

При обследовании определяют:

- места укладки снега, удаляемого с поверхности резервов и карьеров;
- состояние водоотводных канав;
- влажность грунтов в резервах и при необходимости в карьерах.

На основе данных, полученных в результате обследования, в проекте производства работ уточняют:

- сроки и порядок удаления снега с поверхности резервов и карьеров;
- объем работ по восстановлению водоотводных канав;
- способы и сроки разработки резервов и карьеров на различных участках в зависимости от влажности грунтов.

1.2.3. Возведение земляного полотна из крупнообломочных и песчаных грунтов

Насыпь, проектируемую по первому принципу, следует возводить в зимнее время после промерзания грунта основания на глубину не менее 0,3 м. Нижние слои отсыпают на высоту до 0,5 м способом «от себя», а последующие – продольным. Насыпь следует сооружать на полную высоту в одну или две стадии: часть отсыпают зимой на промерзшее основание (первая) и затем доводят до проектной отметки летом (вторая).

Сроки второй стадии определяют исходя из условия сохранения грунта под насыпью в мерзлом состоянии. Эти сроки устанавливают теплотехническим расчетом и соответствуют времени, необходимому для оттаивания слоя насыпи, отсыпанного на первой стадии. Ориентировочно их можно определить по рис. 1.23. Отряды машин должны быть укомплектованы исходя из объемов работ на второй стадии и ограниченных сроков их выполнения.

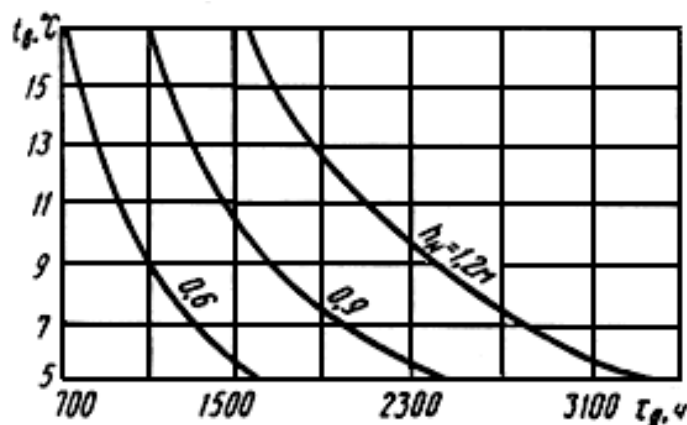


Рис. 1.23. Сроки досыпки насыпи на второй стадии: τ_d – период досыпки;
 t_b – средняя за период досыпки температура воздуха;
 h_n – высота насыпи на первой стадии

Насыпь, проектируемая по второму принципу, должна быть отсыпана до проектных отметок к сроку, когда оттаивание грунтов основания достигнет расчетной глубины. Работы выполняют в зимний или весенне-летний период либо стадийно.

При использовании для возведения насыпи сухо- и твердомерзлых грунтов на второй стадии предусматривают дополнительное уплотнение нижней части насыпи в теплый период вибрационными катками. В районах с островным распространением мерзлоты при отсыпке насыпей в зимний период талыми грунтами время от их разработки до окончания уплотнения не должно превышать: при температуре воздуха до минус $10\text{ }^\circ\text{C}$ – 1,5 ч, минус $10\text{--}20\text{ }^\circ\text{C}$ – 1 ч, минус $20\text{--}30\text{ }^\circ\text{C}$ – 0,5 ч.

Насыпь из крупнообломочных или песчаных грунтов (см. рис. 1.1, 1.2, 1.4, 1.6) возводят послойно на полную высоту с их разравниванием и уплотнением. Теплоизолирующую призму на откосах наращивают по мере отсыпки слоев насыпи. Торф для теплоизоляции доставляют транспортными средствами и перемещают на откосы бульдозерами или автогрейдерами. В аналогичном порядке возводят насыпи на торфяных грунтах (см. рис. 1.12).

Насыпь на косогоре (см. рис. 1.10) возводят с соблюдением следующих правил:

- первый слой отсыпают способом «от себя» с одновременным устройством дренажной присыпки и разравниванием грунта бульдозером;
- присыпку из мохоторфяного грунта наращивают послойно с одновременной отсыпкой и разравниванием грунта в насыпи и мохоторфяного грунта в присыпке.

1.2.4. Возведение земляного полотна из глинистых грунтов

Для разработки глинистых грунтов и перемещения их в насыпь применяют бульдозеры, скреперы, экскаваторы с транспортными средствами. Разработку грунтов в резервах и перемещение их в насыпь (см. рис. 1.11) осуществляют при допустимой влажности, указанной в табл. 1.2. Переувлажненные грунты предварительно просушивают.

В зависимости от влажности грунты в резервах разрабатывают:

- при верхнем пределе допустимой влажности – в весенний период слоями толщиной 15–20 см по мере их оттаивания;
- при влажности от верхнего до нижнего пределов – в летний период слоями по мере их просыхания.

При производстве работ необходимо рационально сочетать указанные способы, обеспечивая первоочередное возведение земляного полотна на участках с более высокой влажностью.

Разработка грунта в резервах послойно по мере оттаивания слоев возможна на ограниченном фронте, длина которого зависит от производительности и количества бульдозеров, а также от скорости оттаивания грунта на глубину 15–20 см. Длину фронта работ L_{ϕ} м, на одну машину (бульдозер) при двухсторонних резервах определяют по формуле

$$L_{\phi} = \frac{\Pi}{2B_p h_{т.сл}} \left(\frac{h_{гр}}{V_{г}} + 1 \right), \quad (8)$$

где Π – производительность машины, м³/сут;

B_p – ширина одного резерва, м;

$h_{т.сл}$ – толщина талого слоя, м; $h_{т.сл} = 0,15 \dots 0,20$ м;

$V_{г}$ – скорость оттаивания грунта в слое 15–20 см, м/сут; устанавливают по данным непосредственных полевых наблюдений или принимают ориентировочно по табл. 1.13.

При дальности перемещения грунта до 20 м и отсутствии мохорастительного покрова в основании применяют схему укладки грунта слоями на всю ширину насыпи из каждого резерва, а более 20 м – от оси дороги к бровке.

Таблица 1.13

Показатели скорости оттаивания грунтов

Дорожно-климатическая подзона	Грунт	Скорость оттаивания, м/сут	
		в мае	в июне
I ₂	Супесь	0,040–0,050	0,070–0,08
	Суглинок	0,030–0,040	0,050–0,06
	Глина	0,025–0,035	0,040–0,05
I ₃	Супесь	0,045–0,055	0,080–0,09
	Суглинок	0,035–0,045	0,055–0,07
	Глина	0,030–0,040	0,050–0,06

Для сохранения мохорастительного покрова в основании насыпи (см. рис. 1.11), возводимой из грунтов из боковых резервов, применяют схему последовательной отсыпки первого слоя грунта от бровки к оси (рис. 1.24).

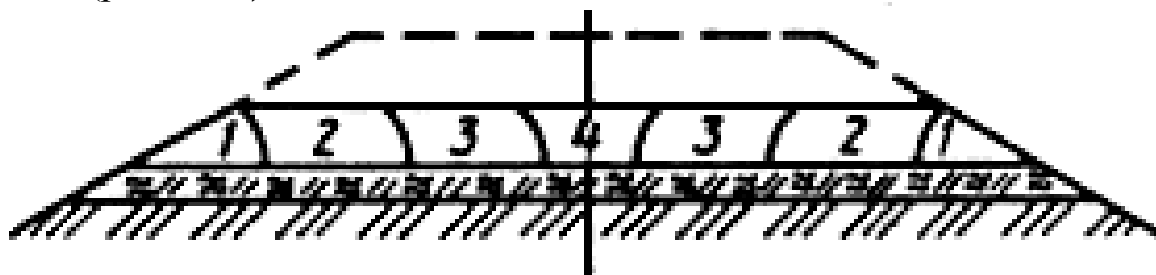


Рис. 1.24. Схема возведения земляного полотна бульдозером с сохранением мохорастительного слоя в основании:
1, 2, 3, 4 – последовательность укладки первого слоя грунта

При возведении насыпи из глинистых грунтов из боковых резервов соблюдают следующие требования.

1. Разрабатывают резервы, начиная с их низовой стороны.
2. Разравнивают грунт ежедневно после перемещения его в насыпь с приданием поверхности уклона 3–5 ‰ от оси к бровкам.
3. Планируют дно и откосы резервов, а также разравнивают валы мохорастительного покрова сразу же после окончания земляных работ.
4. Послойно уплотняют грунт специальными средствами с соблюдением требуемых норм плотности (см. табл. 1.3).

Выемки в глинистых грунтах (см. рис. 1.20) разрабатывают следующими способами:

а) рыхлением мерзлого грунта взрывами с последующей разработкой экскаваторами в отвал или с погрузкой в транспортные средства;

б) взрывами грунта на выброс или сброс с доработкой экскаваторами и бульдозерами;

в) послойной разработкой грунта по мере его естественного оттаивания на глубину 15–20 см и перемещением его бульдозерами в отвал или кавальеры для последующей погрузки экскаваторами в транспортные средства.

При послойной разработке грунта требуемое количество бульдозеров определяют исходя из производительности машин и скорости оттаивания грунта. Выемки глубиной до 2 м разрабатывают по поперечной схеме, а более 2 м – по продольно-участковой схеме. Целесообразно применять комбинированную разработку с использованием обеих схем. Аналогичным способом разрабатывают полувыемки на неустойчивых склонах (см. рис. 1.15).

Выемки в льдонасыщенных грунтах устраивают с укладкой теплоизоляционного материала на откосы сразу же после завершения земляных работ.

Грунт земляного полотна уплотняют, как правило, катками на пневматических шинах, применяя легкие катки (массой до 10 т) для подкатки и тяжелые (25–50 т) для окончательного уплотнения. Необходимое количество проходов катка зависит от принятой нормы плотности, влажности грунта и определяется пробным уплотнением. После возведения земляного полотна откосы крутизной менее 1:3 необходимо доуплотнять легкими катками (массой до 10 т) с перемещением их по круговой схеме перпендикулярно оси насыпи, а более крутые откосы – планировщиками-плотнителями.

1.2.5. Возведение земляного полотна с теплоизолирующими и армирующими прослойками

Для возведения насыпи с теплоизолирующим слоем из торфа в нижней части (см. рис. 1.2, тип 3) необходимо:

- удалить бульдозером снег с дорожной полосы;
- заготовленный заблаговременно и просушенный в карьере торф доставить транспортными средствами к месту работ, уложить слоем толщиной 0,4–0,5 м (в рыхлом состоянии) и разровнять бульдозером повышенной проходимости, одновременно уплотняя;

- отсыпать насыпь из минерального грунта: первый слой – способом «от себя», последующие – продольным.

Земляное полотно с искусственным теплоизолирующим слоем (см. рис. 1.2, тип 4) возводят в следующем порядке:

- удаляют бульдозером снег с дорожной полосы;
- отсыпают из песка выравнивающий слой толщиной до 0,3 м (в зависимости от неровностей на поверхности), планируя его бульдозером или автогрейдером;
- укладывают теплоизолирующие плиты на проектную ширину стыками вразбежку, под откосной частью – в два слоя;
- отсыпают первый слой насыпи толщиной 0,5–0,6 м из песка способом «от себя», надвигая грунт бульдозером сначала на крайние плиты, затем на средние, не допуская попадания на них крупных комьев мерзлого грунта;

- доводят насыпь до проектной отметки продольным способом.

Насыпь на участках с мелкими буграми пучения (см. рис. 1.4) следует возводить, увязывая все виды работ по времени и стадийности. На первой стадии устраивают выравнивающий слой на высоту бугра пучения, укладывают теплоизоляционный материал и засыпают его слоем грунта 0,5–0,6 м. На второй стадии доводят насыпь до проектной отметки при подходе линейного отряда.

На участках с несколькими буграми пучения в пределах дорожной полосы необходимо отсыпать сплошной выравнивающий слой, с тем чтобы использовать его в дальнейшем для проезда автомобильного транспорта и дорожных машин. В местах расположения бугров по ходу работ следует закрепить на них выноски и отметить их в попутной ведомости. До начала оттепели над буграми необходимо уложить теплоизолирующий слой и отсыпать насыпь. При использовании глинистых грунтов (см. рис. 1.4, тип 6) работы производят аналогично.

Земляное полотно на плоскобугристых торфяниках (см. рис. 1.5) возводят в следующем порядке.

1. После промерзания торфа в мочажинах на глубину не менее 30 см (что позволяет обеспечить проезд машин) удаляют снег с дорожной полосы бульдозером.

2. Доставляют торф автомобилями–самосвалами и отсыпают в пределах ширины насыпи по низу, после чего бульдозером перемещают в мочажины способом «от себя».

3. Отсыпают минеральный грунт насыпи после полного промерзания ранее уложенного слоя торфа в мочажинах, для ускорения которого систематически удаляют выпадающий снег.

Время, требуемое на промораживание торфа, определяют по табл. 1.14.

Таблица 1.14

Время, требуемое на промораживание торфа

Толщина слоя торфа, см	Количество градусо-часов для промораживания торфа при его влажности, %			
	500	600	700	800
15	1000	1100	1200	1200
30	4200	4400	4500	4600
40	7500	7800	8000	8100
50	11 700	12 200	12 500	12 600
60	16 900	17 700	18 000	18 200

На участке с единичными крупными буграми пучения (см. рис. 1.6) насыпь возводят в следующем порядке.

1. Расчищают дорожную полосу от снега бульдозером, обеспечивая тем самым быстрое промораживание торфа в мочажинах на глубину 0,3–0,4 м.

2. Рыхлят и удаляют мерзлый грунт бугра пучения бульдозером-рыхлителем на глубину залегания торфа в примыкающих мочажинах.

3. Разрабатывают торф в карьере экскаватором с погрузкой в автомобили-самосвалы, доставляют к месту укладки.

4. Засыпают торф в котлован, разравнивают и уплотняют бульдозером (с запасом на осадку).

5. Планируют поверхность торфяной засыпки с приданием двускатного профиля в сторону откосов.

6. Систематически расчищают снег для ускорения естественного промораживания торфа.

7. Сооружают насыпь из дренирующего грунта после промерзания торфа в котловане.

Сооружение насыпи с геотекстильными прослойками (см. рис. 1.13, 1.14) включает следующие операции: подготовку основания, раскатку и выравнивание рулонов по поверхности основания или насыпного слоя, скрепление полотнищ между собой, приемочный контроль за устройством прослоек, отсыпку земляного полотна до проектных отметок.

Перед укладкой геотекстиля в летний период на естественное основание необходимо предварительно засыпать грунтом глубокие ямы или старые колеи на дорожной полосе, удалить кустарник и отдельные деревья без корчевания пней.

В зимний период геотекстиль следует укладывать после промерзания грунта основания на глубину 30–40 см. Снежный покров толщиной более 20 см должен быть удален с основания насыпи.

Если предусматривают укладку геотекстиля на ранее отсыпанный слой земляного полотна, то его поверхность должна быть спланирована с поперечным уклоном 4 %.

Направление раскатки рулонов (вдоль или поперек дороги) зависит от особенностей работы конструкции. Рулоны необходимо раскатывать с максимально возможным натяжением, устраняя перекосы и выравнивая края. Раскатку рулонов следует производить в объеме, соответствующем сменному заданию по отсыпке вышележащего грунтового слоя или укладке плит покрытия, с тем чтобы к концу смены полностью закрыть все уложенное полотно. Рулоны раскатывают вручную звеном из 3–5 чел. в зависимости от массы рулона. Производительность раскатки – до 10 тыс. м² в смену. Уложенное геотекстильное полотно необходимо закреплять на поверхности. Для этого его пригружают комьями грунта или прищипливают металлическими либо пластмассовыми скобами, вдавливаемыми ручным касетным приспособлением.

Устройство разделительной прослойки из геотекстиля (см. рис. 1.13), а также укрепление им откосов (см. рис. 1.21) производят путем раскатки рулонов как в продольном, так и в поперечном направлениях.

Для устройства обойм и полуобойм из геотекстильного полотна (см. рис. 1.14) рулоны раскатывают в поперечном направлении с запасом по обеим сторонам насыпи, достаточным для смыкания краев в верхней части обоймы или для образования верхних ветвей полуобоймы. После отсыпки грунтового слоя до заданного уровня с послойным разравниванием и уплотнением свободные края полотен заводят на его поверхность с максимальным натяжением. При использовании полотен шириной не менее 4 м и скреплении их между собой допускается раскатывать рулоны в продольном направлении с таким расчетом, чтобы продольные стыки полотен, образующих ограждающие части обоймы или полуобоймы, располагались внутри насыпи не ближе 1,0 м к ее откосам.

Геотекстильный материал засыпают способом «от себя» слоем грунта, минимальную толщину которого определяют по табл. 1.15, а последующие слои – продольной возкой грунта.

Таблица 1.15

Минимальные значения ширины нахлеста и толщины засыпки
геотекстильного материала

Положение прослойки	Минимальная ширина нахлеста, см	Минимальная толщина засыпки, см
В теле насыпи	30	40
В обойме или полуобойме	30	40–50
Под сборным покрытием или под гравийным слоем	10	–
На откосе	20	10–15

При устройстве прослоек полотна соединяют в основном внахлест. Ширину нахлеста принимают также по табл. 1.15.

Если прослойка выполняет армирующую функцию, входит в состав обоймы или полуобоймы и при этом может быть подвержена значительным деформациям в процессе строительства и эксплуатации, то полотна скрепляют сваркой, склеиванием или скобами. При выборе способа скрепления следует учитывать возможность изменения свойств геотекстильного материала в зоне стыка. Так, при сварке ухудшается водопроницаемость полотна, поэтому такой способ не годится для соединения полотен, выполняющих дренажную функцию, например под сборным цементобетонным покрытием.

Полотна сваривают паяльной лампой, бензорезом или газовой горелкой. Прочность сварного шва в зависимости от применяемого оборудования и условий производства работ должна составлять 0,4–0,8 прочности полотна. Необходимо учитывать, что в местах сварки водопроницаемость и деформативность геотекстильного материала резко снижаются.

Аналогичным образом отражается на свойствах материала склейка полотен разогретым битумом или полимерным клеем. При склейке особое внимание следует обращать на прочность шва в случае соединения мокрых полотен.

Соединение сшивкой делают с помощью портативных швейных машин бригадой из 4 чел.; производительность – 1–2 тыс. м шва в смену.

Для сокращения затрат труда и повышения темпов устройства прослоек целесообразно применять широкие полотна, составленные из двух-трех полотнищ путем их соединения различными способами

на предприятиях-изготовителях или производственных базах строительных организаций. Полученное таким образом полотно складывают по ширине и затем сворачивают в рулон, причем длина полотна и масса рулона должны обеспечивать удобство работ вручную.

Для защиты геотекстильного материала, уложенного на поверхность неподтопляемых откосов, от солнечной радиации и атмосферных осадков устраивают грунтовое покрытие из песка, гравийно-песчаной смеси, торфа. Грунты доставляют из карьеров автомобилями-самосвалами, разгружают на обочинах и распределяют по откосу слоем требуемой толщины бульдозерами или экскаваторами-планировщиками. В качестве защитного слоя подтопляемых откосов канав используют битумную эмульсию.

1.2.6. Возведение земляного полотна из местных грунтов способом промораживания

Насыпь из глинистых грунтов в нижней части (см. рис. 1.7, 1.8) отсыпают слоями по 0,25–0,30 м по мере полного промерзания каждого слоя.

Работы необходимо выполнять отдельным отрядом на каждом участке строительства (сосредоточенные работы).

Требуемую производительность Π_3 , м³/сут, звена ведущих машин (экскаваторов) в зависимости от скорости промерзания грунта в слоях, отсыпаемых без технологических перерывов, определяют по формуле

$$\Pi_3 = \frac{L_c B_k h_{cl} K_0}{1 + \tau_{пр}} \quad \text{или} \quad \Pi_3 = \Pi_{см} K_{см}, \quad (9)$$

где L_c – длина участка строительства, м;

B_k – ширина слоя насыпи по середине его толщины, м;

$\tau_{пр}$ – время промерзания слоя, сут;

h_{cl} – толщина отсыпаемого слоя, зависящая от скорости его промерзания, м;

K_0 – коэффициент относительного уплотнения грунта (отношение плотности скелета грунта в насыпи к естественной в карьере);

$\Pi_{см}$ – сменная производительность, м³;

$K_{см}$ – коэффициент сменности работы машин.

При наличии в строительном подразделении определенного звена экскаваторов уточняют допустимую для него протяженность L_c участка строительства.

Насыпь необходимо возводить в следующем технологическом порядке.

1. В осенний период бульдозером повышенной проходимости удаляют мохорастительный покров на ширину насыпи понизу.

2. При установлении устойчивых отрицательных температур воздуха систематически расчищают дорожную полосу от снега бульдозером, обеспечивая промерзание грунта основания на глубину не менее 1,0 м, при этом расчетное время промерзания $\tau_{пр}$ определяют по рис. 1.25.

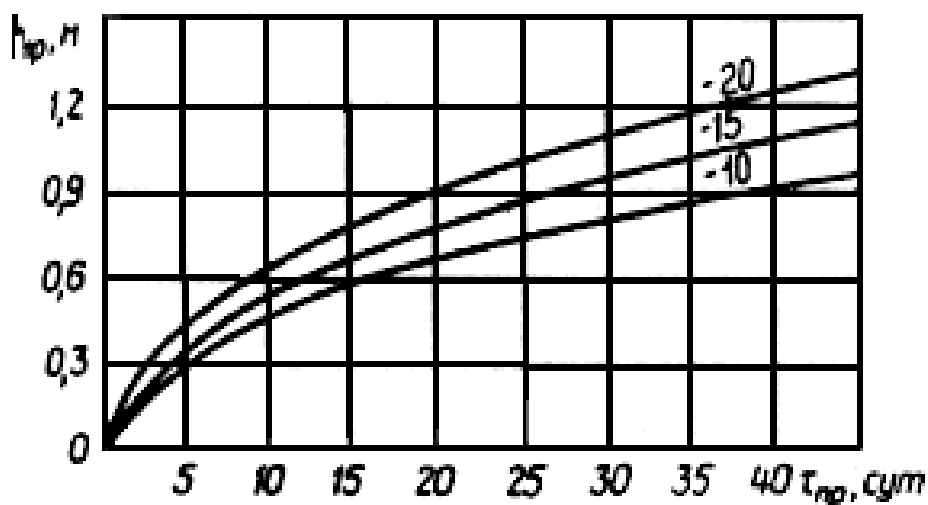


Рис. 1.25. Глубина промерзания избыточно увлажненного глинистого грунта при систематической расчистке снега: $h_{пр}$ – глубина промерзания.

Цифры на кривых – средняя за время промерзания температура воздуха, $^\circ\text{C}$

3. Доставляют глинистый грунт автомобилями-самосвалами, отсыпают продольным способом, разравнивают слоем расчетной толщины, уплотняют катком на пневматических шинах; таким образом устраивают все слои глинистой части насыпи с их промораживанием.

4. Торф доставляют из карьера и отсыпают вначале на откосные части насыпи с надвижкой его бульдозером; затем торфом закрывают поверхность глинистого грунта, отсыпая слоями по 25–30 см с уплотнением и промораживанием каждого.

5. Отсыпают верхнюю часть насыпи из сыпуче- и сухомерзлого песка.

Технологическая последовательность рабочих процессов при сооружении земляного полотна на замороженных основаниях (см. рис. 1.18) такая:

- 1) подготовительные работы;
- 2) намораживание торфяной плиты;
- 3) отсыпка насыпи из минеральных грунтов.

Сооружение земляного полотна производят в три этапа:

- на первом (осенне-зимний период) выполняют подготовительные работы и намораживают торфяную плиту.
- на втором (предвесенний период) отсыпают земляное полотно из минеральных грунтов на часть высоты и устраивают теплоизолирующие призмы из торфа.
- на третьем (летний период) досыпают земляное полотно из минеральных грунтов до проектной высоты.

Комплекс подготовительных работ включает: проминку поверхности болот гусеничными машинами повышенной проходимости; расчистку дорожной полосы от снега, древесной и кустарниковой растительности бульдозерами; систематическую очистку полосы от выпадающего снега в период промораживания торфяного основания на заданную глубину.

Торфяную плиту устраивают после промерзания основания на глубину, обеспечивающую безопасное движение машин и механизмов. Способ производства работ назначают с учетом типа болот.

При строительстве дороги на болотах I типа (см. рис. 1.18, тип 24) плиту намораживают обычно в два слоя из торфа из боковых резервов, поочередно разрабатывая их экскаваторами-драглайнами. При этом экскаватор движется вдоль траншеи и разрабатывает ее за один проход, заготавливая и перемещая в вал количество торфа, требуемое на устройство одного слоя на всю ширину плиты.

Торф в валах выдерживают 2–3 сут, пока не снизится его влажность. Затем вал разравнивают, перемещая торф под углом к оси дороги. Торф уплотняют гусеничными тракторами за 5–6 проходов по одному следу до плотности скелета торфа в насыпи не менее $0,16 \text{ г/см}^3$.

Второй слой плиты устраивают после полного промерзания первого в той же технологической последовательности, что и первый. Второму слою торфяной плиты придают серповидный профиль и дополнительно уплотняют поперечными проходами трактора по откосам и телу плиты.

При устройстве торфяной плиты на болотах II и III типов (см. рис. 1.18, типы 25, 26) торф заготавливают в карьерах, закладываемых на болотах I типа, и транспортируют на дорогу автомобилями.

Торф разгружают, распределяя равномерно на всю ширину плиты, разравнивают бульдозером слоями по 0,5–0,6 м и уплотняют гусеничным трактором.

Каждый последующий слой торфяной плиты устраивают после полного промерзания предыдущего. Последнему слою придают серповидный профиль. Чтобы механизмы не простаивали в период технологических перерывов, работу ведут одновременно на нескольких участках.

1.2.7. Укрепление откосов земляного полотна

Во всех конструкциях насыпей, возводимых из песчаных и других легкоразмываемых грунтов, откосы укрепляют торфопесчаной смесью с соблюдением следующих правил.

1. Смесью требуемого состава приготавливают в карьерах. С этой целью слабо- или среднеразложившийся торф с естественной влажностью 300–400 % перемешивают с талым или сыпучемерзлым песком в буртах за несколько (не более 4–5) продольных по длине бурта или поперечных проходов бульдозера. Для перемешивания целесообразно также использовать тракторы типа «Беларусь», оборудованные прямой или обратной лопатой.

2. Приготовленную торфопесчаную смесь необходимо доставлять к месту укладки автомобилями-самосвалами, разгружать на обочине и верхней части откосов, распределять бульдозерами на откос в поперечном направлении.

3. Откосы и обочины укрепляют геотекстильным материалом. Укрепление обочин гравийно-песчаным или щебенистым материалом, а также бетонными плитами рекомендуется выполнять по технологии, изложенной в СП 78.13330.2012 [6].

1.2.8. Сооружение водоотводных устройств

Водоотводные устройства, за исключением лотков, полулотков и дренажных конструкций в выемках, следует сооружать до начала основных земляных работ.

Канавы устраивают:

- весной (по мере оттаивания грунта) экскаваторами-драглайнами с обратной лопатой, канавокопателями и бульдозерами;
- летом или осенью (в период максимального оттаивания грунтов) сразу на полный профиль экскаваторами, канавокопателями и бульдозерами;
- зимой взрывным способом.

Материал для утепления и укрепления (дерн, мох, торф, камень и бетонные плитки) водоотводных устройств заготавливают заблаговременно и доставляют к месту работы в зимний период.

Бетонные лотки, полулотки и полутрубы изготавливают отдельными секциями на специально оборудованных площадках или доставляют к месту монтажа со специализированных предприятий. Секции монтируют кранами на автомобильном или гусеничном ходу.

Мерзлотные валики устраивают в начале зимы (после промерзания грунта основания на глубину 0,3 м) в следующем порядке:

- 1) грунт доставляют автомобилями-самосвалами, планируют и уплотняют бульдозерами;
- 2) откосы планируют навесным тракторным планировщиком;
- 3) вдоль подошвы откосов укладывают теплоизоляционный материал и распределяют его на откосы бульдозерами.

1.2.9. Контроль за качеством производства и приемка работ

Качество производства всех видов работ контролируют, руководствуясь требованиями СП 78.13330.2012 [6].

При сооружении земляного полотна контролируют:

- сохранность мохорастительного покрова в основании насыпей и в пределах охранной зоны;
- соблюдение сроков выполнения подготовительных и основных работ;
- глубину промерзания (оттаивания) грунтов основания и отсыпаемых слоев насыпи;
- толщину теплоизолирующих слоев, отсыпаемых на всех конструктивных элементах (в нижней части, на откосах и на поверхности глинистого грунта, уложенного в нижней части насыпи);
- требуемую плотность при послойном уплотнении грунтов;
- качество стыковки полотен геотекстильного материала.

Освидетельствованию и приемке с оформлением соответствующих актов подлежат: качество расчистки основания (удаление снега и древесной растительности, ликвидация глубоких ям и колеи); толщина, степень уплотнения и качество теплоизолирующих слоев насыпей; размеры в плане и глубина удаления бугра пучения, толщина отсыпанного при ликвидации бугра торфяного слоя; толщина, степень уплотнения и промораживания намораживаемых торфяных плит; высота нижней части насыпи из замороженных глинистых грунтов; качество грунтов, уложенных в верхней части насыпи (соответствие проекту, степень уплотнения); геометрические размеры берм и тепло-

изолирующих слоев и качество их устройства на откосах; качество уложенного геотекстильного материала (сплошность полотен, величина нахлеста, способ стыковки полотен).

Промежуточные приемки осуществляют комиссии, которые определяют качество строительства и возможность производства последующих работ.

Качество работ по устройству покрытий, оснований и дополнительных слоев оснований с применением белитового шлама контролируют, руководствуясь положениями СП 78.13330.2012 [6] в части контроля качества работ по устройству оснований и покрытий из материалов, укрепленных неорганическими вяжущими.

При устройстве дорожных одежд в зимнее время должно быть обеспечено регулярное получение ежедневных метеорологических данных и краткосрочных прогнозов по температуре наружного воздуха, скорости и направлению ветра, осадкам.

ГЛАВА 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ СКЛОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

2.1. Общие положения

Исходным положением для проектирования сооружений инженерной защиты на участках автомобильных дорог с развитием склоновых процессов является выявление природных и техногенных факторов разрушающих воздействий, присутствующих или способных проявиться в период эксплуатации на рассматриваемом участке автомобильной дороги.

Исходные материалы для проектирования сооружений инженерной защиты от склоновых процессов должны включать в себя:

- сведения о географическом положении, хозяйственных связях и границах защищаемой территории;
- оценку существующего хозяйственного использования территории, ее экологического значения и перспектив развития автомобильных дорог;
- сведения о существующих сооружениях, их состоянии, условиях эксплуатации и возможности их реконструкции и мероприятиях инженерной защиты;
- данные по прогнозу последствий и возможных потерь (ущерба и социальных потерь) от воздействия опасных геологических процессов;
- материалы инженерных изысканий (инженерно-геологических, инженерно-геотехнических, инженерно-гидрогеологических, инженерно-гидрометеорологических, инженерно-экологических);
- материалы о проводимых или намечаемых региональных мероприятиях по инженерной подготовке территории и их влиянии на природные условия и ресурсы защищаемой территории;
- данные о местных строительных материалах и энергетических ресурсах;
- картографические материалы;
- градостроительную документацию.

Границы защищаемых участков, подверженных воздействию склоновых процессов, в пределах которых требуется строительство сооружений, следует устанавливать по материалам рекогносцировочных обследований и уточнять при последующих инженерных изысканиях.

При проектировании сооружений инженерной защиты от склоновых процессов следует обеспечивать предотвращение, устранение или снижение до допустимого уровня отрицательного воздействия на защищаемые объекты действующих склоновых и возможных связанных с ними опасных процессов.

Проектирование инженерной защиты на участках автомобильных дорог с развитием склоновых процессов следует выполнять с учетом уровня ответственности защищаемого участка автомобильной дороги, его конструктивных и эксплуатационных особенностей, опыта проектирования, строительства и эксплуатации сооружений инженерной защиты в аналогичных природных условиях, а также масштабности проявления, цикличности и причин развития склоновых процессов, конкретных инженерно-геологических условий и прогноза их изменения в период строительства и эксплуатации объекта. Проектирование инженерной защиты автомобильных дорог с развитием склоновых процессов следует вести с учетом требований СП 34.13330.2012 [2], а также ГОСТ 33100–2014 [7].

Уровень ответственности (класс) сооружений инженерной защиты от склоновых процессов следует назначать в соответствии с уровнем ответственности, или классом, защищаемых объектов. При защите территории, на которой расположены объекты различных уровней ответственности, или классов, уровень ответственности сооружений инженерной защиты должен, как правило, соответствовать уровню ответственности большинства защищаемых объектов. При этом отдельные объекты с повышенным уровнем ответственности могут иметь локальную защиту. Классы таких объектов и их локальная защита должны соответствовать друг другу. Если технико-экономическим обоснованием установлена нецелесообразность локальной защиты, то класс сооружений инженерной защиты от склоновых процессов устанавливается по объектам наиболее высокого класса.

При проектировании сооружений инженерной защиты на участках автомобильных дорог с развитием склоновых процессов должны разрабатываться варианты комплексов этих сооружений с целью выбора оптимального из них по эффективности, надежности, технологии выполнения и экономичности с учетом прогноза взаимодействия комплекса с окружающей природно-хозяйственной средой и обеспечения наилучших условий его содержания в процессе строительства и эксплуатации. Выбор оптимальных проектных решений должен сопровождаться соответствующим технико-экономическим обоснованием.

При проектировании комплекса сооружений инженерной защиты

от различных опасных геологических процессов их следует согласовывать между собой.

Техническая эффективность и надежность сооружений инженерной защиты от склоновых процессов должны подтверждаться расчетами, а в обоснованных случаях – моделированием (натурным, физическим, математическим и др.) опасных процессов с учетом воздействия на них проектируемых сооружений [8].

Эффективность инженерной защиты от склоновых процессов следует определять на основании оценки риска опасных геологических процессов с учетом предотвращенных потерь (ущерб и социальных потерь). Экономический эффект варианта инженерной защиты определяют размером предотвращенного ущерба территории или сооружению от воздействия опасных процессов за вычетом затрат на осуществление защиты.

Если из-за сложности инженерно-геологических, гидрологических и экологических условий по материалам изысканий не представляется возможным выполнить необходимые расчеты и осуществить выбор сооружения, в проектной документации следует предусматривать экспериментальные сооружения инженерной защиты и (или) выполнение опытно-производственных работ с последующей корректировкой проектной документации. При этом данные сооружения должны быть обозначены как экспериментальные и для них должны быть разработаны системы геотехнического мониторинга [9–11].

Возможность выполнения опытно-производственных работ на стадии разработки проектной документации должна быть оговорена в техническом задании на проектирование, выдаваемом заказчиком–застройщиком в составе тендерной документации.

Нагрузки и воздействия, учитываемые в расчетах сооружений инженерной защиты от склоновых процессов, коэффициенты надежности, а также возможные сочетания нагрузок следует принимать в соответствии с СП 20.13330.2011 [12]. Для сооружений инженерной защиты водоподпорного типа следует также учитывать требования СП 58.13330.2012 [13].

При проектировании сооружений инженерной защиты от склоновых процессов следует предусматривать:

- поэтапность возведения и ввода в эксплуатацию сооружений при строгом соблюдении технологической последовательности выполнения работ;
- конструктивные решения и мероприятия, обеспечивающие возможность ремонта проектируемых сооружений, а также изменение

их функционального назначения в процессе эксплуатации;

- использование и при необходимости реконструкцию существующих сооружений инженерной защиты.

Проектная документация для сооружений инженерной защиты на участках автомобильных дорог с развитием склоновых процессов должна отвечать требованиям охраны окружающей среды и при необходимости включать разработку комплекса мероприятий, предусматривающих не превышение допустимого уровня антропогенного вмешательства в природную среду и гарантирующих предотвращение развития в ней негативных процессов.

При проектировании сооружений инженерной защиты от склоновых процессов следует также предусматривать:

- сохранение заповедных зон, ландшафтов, исторических объектов и памятников и т. д.;

- надлежащее архитектурное оформление сооружений инженерной защиты;

- в необходимых случаях – систематические наблюдения (мониторинг) за состоянием защищаемых территорий и объектов и за работой сооружений инженерной защиты в период строительства и эксплуатации.

Возведение сооружений инженерной защиты на участках автомобильных дорог с развитием склоновых процессов необходимо выполнять в соответствии с проектом организации строительства, проектом производства работ и технологическим регламентом способами, не приводящими к появлению новых и (или) интенсификации действующих геологических процессов, в том числе на примыкающих территориях. В случае, когда сооружения инженерной защиты могут оказать отрицательное влияние на эти территории, в проектной документации должны быть предусмотрены соответствующие компенсационно-восстановительные мероприятия.

При проектировании сооружений инженерной защиты на участках автомобильных дорог с развитием склоновых процессов рекомендуется применять конструкции заводского изготовления, а также конструкции, при возведении которых обеспечивается механизация производства работ. Размеры конструкций следует назначать исходя из принципов модульности и унификации элементов, а также максимального использования грузоподъемности транспортных средств и кранового оборудования. В проектах производства работ и организации строительства следует предусматривать предмонтажную подготовку и крупноузловую сборку конструктивных элементов.

Строительные материалы и конструкции для сооружений инженерной защиты от склоновых процессов должны удовлетворять требованиям государственных стандартов и технических условий на эти материалы и конструкции (при их отсутствии – сертификатам соответствия, спецификациям и рекомендациям производителей), а их выбор необходимо производить согласно требованиям глав сводов правил по проектированию: бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений – СП 41.13330.2012 [14], плотин из грунтовых материалов – СП 39.13330.2012 [15], каменных и армокаменных конструкций – СП 15.13330.2020 [16], стальных конструкций – СП 16.13330.2011 [17].

В необходимых случаях в проектной документации следует предусматривать установку контрольно-измерительной аппаратуры и устройство наблюдательных скважин, постов, геодезических реперов, марок и т. д. для наблюдения в период строительства и эксплуатации за развитием опасных процессов и работой сооружений инженерной защиты от склоновых процессов. В проектной документации должны быть предусмотрены состав и режим необходимых наблюдений (мониторинг) и соответствующие дополнительные мероприятия по обеспечению надежности сооружений и эффективности инженерной защиты.

Ввод в эксплуатацию сооружений и мероприятий инженерной защиты и строительство защищаемых объектов должны быть взаимосвязаны и гарантировать безаварийное ведение работ.

2.2. Противооползневые сооружения

2.2.1. Основные положения

Противооползневые сооружения предназначены для обеспечения безопасной эксплуатации участков автомобильных дорог, подверженных воздействию оползневых процессов.

Противооползневые сооружения подразделяются:

- а) по выполняемой функции (рис. 2.1):
 - удерживающие оползневой массив;
 - создающие стесненные условия смещению оползневого массива;
 - защищающие отдельный объект и работающие в условиях обтекания грунтом;
- б) по расположению относительно защищаемого объекта (рис. 2.2):
 - верховые (расположенные на верховом склоне);

- низовые (расположенные на низовом склоне);
- совмещенные (выполняющие функцию фундамента объекта);
- в) по мощности непосредственно удерживаемого массива (рис. 2.3):
 - удерживающие всю оползневую толщу;
 - удерживающие нижнюю часть оползневой толщи и создающие стесненные условия для грунта в условиях «переползания» им сооружения;
- г) по длине фронта удержания:
 - перекрывающие весь оползневой массив;
 - локальные (отдельно стоящие) сооружения;
- д) по протяженности удерживаемого оползневого склона:
 - одноярусные;
 - многоярусные (расположенные в два и более яруса по длине оползня);
- е) по механизму работы:
 - свайные сооружения;
 - анкерные сооружения;
 - гравитационные сооружения;
 - комбинированные сооружения.

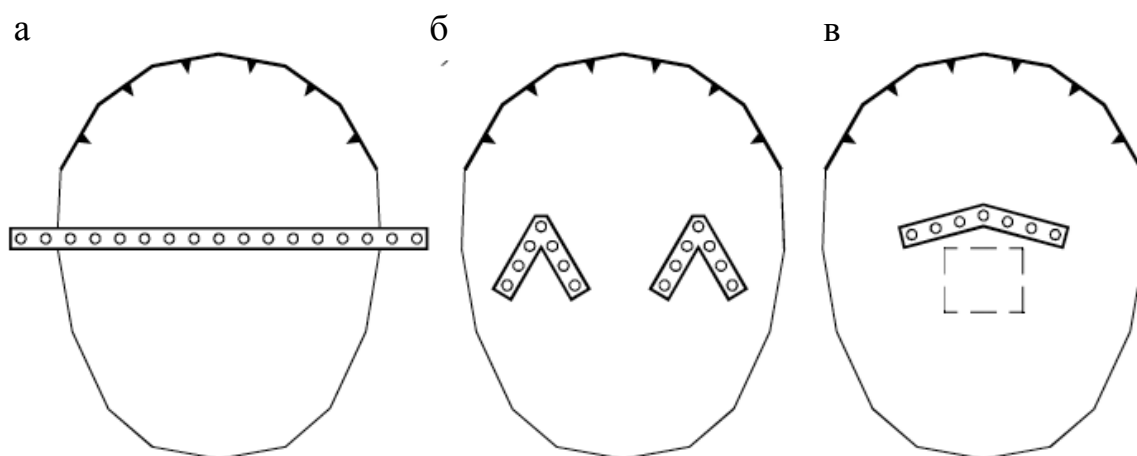


Рис. 2.1. Виды противооползневых сооружений в зависимости от выполняемой функции инженерной защиты: а – удерживающее оползневой массив; б – создающее стесненные условия смещению оползневого массива; в – защищающее отдельный объект и работающее в условиях обтекания грунтом

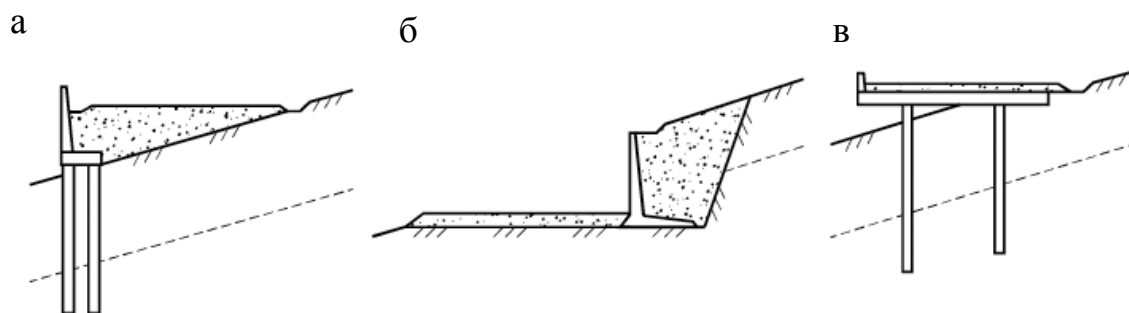


Рис. 2.2. Виды противооползневых сооружений в зависимости от расположения относительно защищаемого объекта:
а – верховое; б – низовое; в – совмещенное

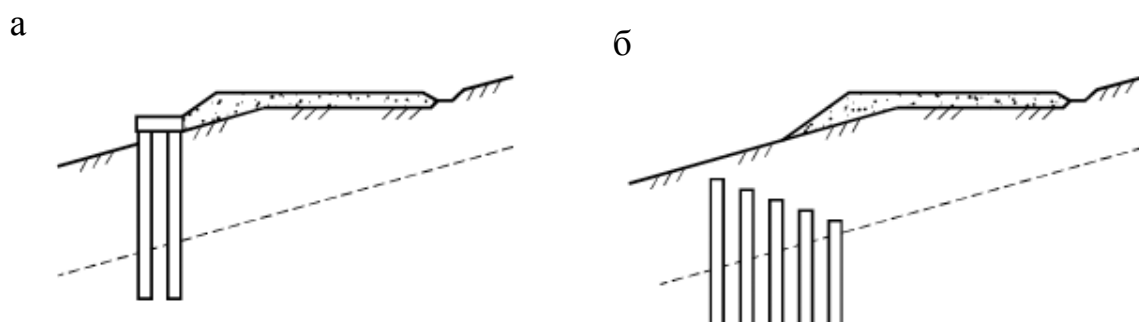


Рис. 2.3. Виды противооползневых сооружений в зависимости от мощности непосредственного удержания:
а – удерживающие всю оползневую толщу;
б – удерживающие нижнюю часть оползневой толщи и создающие стесненные условия для грунта в условиях «переползания» конструкции

В качестве дополнительных противооползневых мероприятий также следует предусматривать:

- уположение откоса (склона);
- устройство противозрозионных покрытий;
- регулирование поверхностного и подземного стока с устройством водоотводных и дренажных и противofiltrующих конструкций.

Расположение удерживающих противооползневых сооружений относительно защищаемого объекта определяется положением объекта на склоне. Если защищаемый объект расположен:

- в головной части потенциально оползневого массива – следует предусматривать устройство преимущественно низовых удерживающих сооружений;
- в срединной части – следует предусматривать устройство верховых, низовых удерживающих сооружений или их сочетания в зависимости от прогнозируемого положения поверхности скольжения и

соотношения размеров выемки и насыпи на защищаемом участке;

- в языковой части – следует предусматривать устройство преимущественно верховых удерживающих сооружений или низовых сооружений в сочетании с контрбанкетом.

Защитные противооползневые сооружения рекомендуется располагать непосредственно перед защищаемым объектом таким образом, чтобы максимально исключить влияние оползневого грунта на защищаемый объект.

В случае невозможности реализации технических решений по устройству верховых или низовых сооружений (к примеру, при чрезмерных нагрузках на склон от защищаемого объекта) рекомендуется предусмотреть устройство свайного удерживающего сооружения непосредственно под объектом, совмещающего функции противооползневого сооружения и свайного фундамента.

Размещение противооползневых сооружений на склоне следует выбирать на основе расчетов устойчивости склона и анализа расположения поверхностей скольжения и эпюр оползневого давления, проводимых с учетом возможного многоярусного расположения сооружений.

С целью снижения оползневых давлений на каждый ярус удерживающих противооползневых сооружений рекомендуется увеличивать количество ярусов. Необходимое количество ярусов удерживающих сооружений определяется протяженностью удерживаемого оползневого склона из условия обеспечения локальной устойчивости грунтов склона между каждыми двумя смежными ярусами, а также общей устойчивости склона с учетом всех ярусов сооружений.

С целью снижения давления обтекания оползневой массы защитные противооползневые сооружения следует устраивать под непрямым углом к вектору смещения оползневых грунтов, или «клином».

Длина фронта удержания определяется поставленной задачей и технологической возможностью устройства конструктивных элементов, способных воспринять прогнозируемые оползневые усилия. Возможны следующие ситуации:

- ширина участка инженерной защиты сопоставима с шириной оползневого или оползнеопасного массива. Длина фронта удержания относительно невелика. Удерживающее сооружение должно перекрывать весь оползневой или оползнеопасный участок единой (сплошной) конструкцией и закрепляться в устойчивых грунтах за его пределами;

- ширина участка инженерной защиты сопоставима с шириной оползневого или оползнеопасного массива. Длина фронта удержания имеет значительную величину. Допускается делить удерживающее сооружение на секции или отдельно стоящие сооружения. При этом следует учитывать эффект пространственного воздействия оползня в зависимости от различной жесткости отдельных секций;

- ширина участка инженерной защиты существенно меньше размеров оползневого массива в плане. Удержание всего оползнеопасного массива в этом случае может быть нецелесообразно. Следует применять отдельно стоящие сооружения для защиты локального объекта без обеспечения устойчивости всего оползневого (оползнеопасного) массива.

Для удерживающих противооползневых сооружений должна быть обеспечена:

- локальная устойчивость оползневых или оползнеопасных грунтов между ярусами удерживающих сооружений;

- общая устойчивость склона с учетом всех ярусов удерживающих сооружений;

- локальная и общая устойчивость строительной площадки на время производства строительных работ в районе каждого яруса проектируемых удерживающих сооружений.

Для защитных противооползневых сооружений должна быть обеспечена локальная и общая устойчивость строительной площадки на время производства строительных работ в районе каждого из проектируемых сооружений.

Для защитных конструкций, отклоняющих смещение оползневых масс от объекта, также должна быть обеспечена:

- устойчивость склона по поверхностям, охватывающим защищаемый объект и верховой склон со свайным сооружением;

- локальная устойчивость склона ниже защитного сооружения.

Оценка локальной устойчивости склона при проектировании удерживающих противооползневых сооружений должна производиться с учетом возможности переползания оползневым грунтом ниже расположенных ярусов сооружений.

Оценка локальной степени устойчивости склона при проектировании защитных противооползневых сооружений должна производиться с учетом возможности переползания их оползневым грунтом со стороны верхового склона и отрыва от сооружения грунта ниже расположенного склона.

Оценка общей устойчивости склона при проектировании удерживающих противооползневых сооружений должна производиться с учетом поверхности скольжения, пересекающей удерживающие элементы одного или нескольких ярусов конструкций. При этом должна быть обеспечена устойчивость оползневого тела между каждыми двумя смежными ярусами.

Оценка общей устойчивости склона при проектировании защитных противооползневых сооружений должна производиться с учетом расположения поверхности скольжения, пересекающей удерживающие элементы конструкции.

Оценку устойчивости защитных противооползневых сооружений рекомендуется выполнять минимум по двум расчетным сечениям:

- непосредственно пересекающем проектируемое сооружение и защищаемый объект;
- проходящем на склоне в непосредственной близости от защищаемого объекта вне защитного сооружения.

Оценка локальной и общей устойчивости грунтов склона может производиться с использованием методов предельного равновесия, конечных элементов (МКЭ) и комбинированных.

Расчетная модель должна адекватно описывать предполагаемое поведение грунта, но может включать в себя упрощения. Расчетная модель должна быть максимально простой и содержать только существенные элементы (попытки подробного моделирования микрорельефа поверхности земли, мелких геологических элементов или антропогенных образований не только не способствуют получению более точных результатов, но, напротив, существенно снижают точность расчета).

Количество расчетных сценариев должно быть минимизировано. Вместе с тем расчеты должны учитывать все наихудшие сценарии (сочетания нагрузок, геометрических и физико-механических условий) как на этапе строительства, так и на этапе эксплуатации в нормальных и особых условиях.

При расчете общей устойчивости уточнение напряженно-деформированного состояния вдоль поверхности смещения на основе метода конечных элементов, как правило, позволяет получить более точные результаты. Уточнение становится тем существеннее, чем выше откос, сложнее напластование основных инженерно-геологических элементов или наблюдаются колебания уровня грунтовых вод.

При выборе расчетной схемы и внесении упрощений следует иметь в виду, что, как правило, на устойчивость системы наибольшее влияние оказывают:

- рельеф местности;
- величина угла внутреннего трения;
- величина удельного сцепления грунта;
- величина порового давления в грунте.

2.2.2. Свайные сооружения

Свайные противооползневые сооружения (рис. 2.4) классифицируются:

- а) по расположению элементов свайного поля (рис. 2.5):
 - сплошные стены из буросекущихся или бурокасательных свай;
 - свайные стены из буронабивных свай (с шагом в осях более одного диаметра);
 - отдельно стоящие линейные сооружения;
 - отдельно стоящие кусты свай;
 - отдельно стоящие сваи;
- б) по взаимному расположению свай в рядах:
 - с шахматным расположением;
 - с рядовым расположением.

Расположение элементов свайного поля следует выбирать исходя из задачи инженерной защиты, консистенции удерживаемого оползневого грунта и возможности его продавливания между свайными элементами:

- буросекущиеся или бурокасательные сваи следует применять в случае необходимости удержания глинистых грунтов пластичной и текучепластичной консистенции, особенно при удержании грунтов выемки верховыми удерживающими конструкциями;
- свайные ряды с шагом свай более одного диаметра следует применять при необходимости удержания оползневых грунтов различной консистенции. Шаг свайных элементов определяется из условия непродавливания грунта между ними;
- отдельно стоящие сооружения следует применять для удержания оползневых грунтов на участках, представляющих наибольший риск для защищаемого объекта. Расстояние между смежными конструкциями следует принимать из условия обеспечения устойчивости грунта в просвете между отдельными сооружениями;

– отдельно стоящие сваи и кусты свай могут применяться для удержания грунтов склона при создании стесненных условий для смещения грунта между смежными кустами свай при значительной мощности оползневых накоплений, а также в качестве фундаментов защищаемых объектов в условиях обтекания оползневой массой.

С целью увеличения сопротивления свайного поля продавливанию грунта по возможности необходимо применять шахматное расположение свай в рядах. При необходимости усиления свайного сооружения анкерными конструкциями или для пропуска коммуникаций между сваями допускается применять рядовое расположение свай.

Мощность непосредственно удерживаемого свайным сооружением массива определяется технологической возможностью и экономической эффективностью устройства конструкций достаточной прочности. Возможны следующие ситуации:

– мощность оползневых накоплений относительно невелика и/или технико-экономические возможности позволяют устройство свай достаточного большого диаметра для восприятия действующих оползневых давлений – следует предусматривать сплошные железобетонные сваи, пересекающие оползневую толщу на всю глубину и заземленные в коренных устойчивых породах;

– мощность оползневых накоплений значительна и/или отсутствует возможность применения свай большого диаметра – рекомендуется применение конструкций из свай-шпонов, удерживающих нижнюю часть грунтов оползня и создающих стесненные условия для «переползания» верхних слоев поверх сооружения.

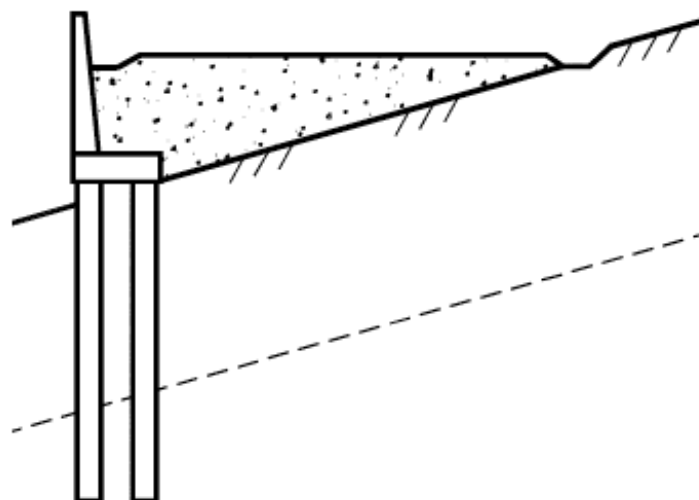


Рис. 2.4. Свайное противооползневое сооружение

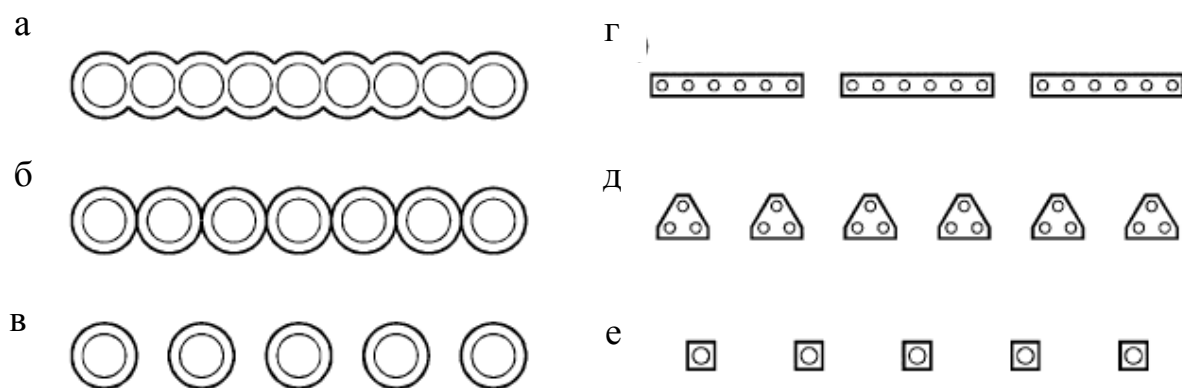


Рис. 2.5. Свайные противооползневые сооружения по расположению элементов свайного поля: а – буресекущиеся сваи; б – бурокасательные сваи; в – свайные ряды; г – отдельно стоящие сооружения; д – отдельно стоящие свайные кусты; е – отдельно стоящие сваи

Расчеты свайных противооползневых сооружений выполняются по методу предельных состояний и рассматривают две группы предельных состояний:

а) первая (полная непригодность сооружения к дальнейшей эксплуатации):

- расчеты общей прочности и устойчивости системы сооружение – грунтовый массив;

- расчеты прочности и устойчивости отдельных элементов сооружения, разрушение которых приводит к прекращению эксплуатации сооружения;

- расчеты перемещений сооружений и конструкций, от которых зависит прочность или устойчивость сооружения в целом, а также прочность или устойчивость объектов на защищаемой территории и др.;

б) вторая (непригодность к нормальной эксплуатации):

- расчет оснований, откосов, склонов и элементов конструкции, разрушение которых не приводит все сооружение в непригодное состояние, на местную прочность;

- расчеты по ограничению перемещений и деформаций сооружений, прилегающих территорий и объектов, на них расположенных;

- расчеты по образованию или раскрытию трещин и строительных швов.

Выбор рациональной конфигурации свайного противооползневого сооружения выполняется методом последовательных приближений и вариантного проектирования. Причиной является то, что несущая способность свайной конструкции определяется множеством взаимосвязанных и заранее неизвестных параметров: диаметром и армиро-

ванием свай, количеством рядов свай, расстоянием между сваями в ряду и между рядами, сопротивлением свайного поля продавливанию грунта и др.

Выбор состава расчетов каждого конкретного конструктивного решения противооползневых сооружений должен учитывать специфику выполняемой функции и условий работы конструкции на склоне:

а) для удерживающих сооружений, непосредственно препятствующих оползневому смещению:

- давление грунта на сооружение определяется величиной фронтального оползневого давления;

- расстояние между сваями в ряду определяется из условия непродавливания грунта между смежными сваями при направлении вектора оползневого давления перпендикулярно оси сооружения;

- оценка общей устойчивости сооружения производится с учетом поверхностей скольжения, проходящих ниже концов свай;

б) для удерживающих сооружений, создающих стесненные условия смещению грунта:

- расстояние между смежными сооружениями определяется из условия обеспечения пространственной устойчивости участка склона между ними;

- давление грунта на сооружение определяется величиной фронтального оползневого давления в створе сооружения;

- оползневое давление на сооружение определяется с учетом распределения суммарного фронтального оползневого давления на смежные сооружения;

- расстояние между сваями в ряду (или в кусте) определяется из условия непродавливания грунта между смежными сваями;

- оценка общей устойчивости сооружения производится с учетом поверхностей скольжения, проходящих ниже концов свай;

в) для защитных сооружений, отклоняющих смещение оползневых масс от объекта:

- давление грунта определяется при смещении оползневого грунта под углом к оси сооружения;

- расстояние между сваями в ряду определяется из условия непродавливания грунта между смежными сваями;

г) для защитных сооружений, совмещающих функции фундамента защищаемого объекта:

- давление грунта определяется расчетом оползневого давления

в условиях пластического обтекания свай оползневым грунтом;

- расстояние между сваями в ряду определяется из условия отсутствия взаимного сопротивления смежных свай смещению грунта между ними.

В общем случае расчет противооползневого сооружения включает решение следующих взаимосвязанных задач:

- выбор конфигурации свайного поля;
- определение нагрузок на элементы конструкции;
- расчет внутренних усилий в элементах конструкции;
- расчет необходимого армирования элементов конструкции из условий прочности и трещиностойкости;
- проверка длины заделки свай в несмещаемые породы;
- оценка общей устойчивости сооружения.

Выбор конфигурации свайного поля противооползневых сооружений:

- а) производится с учетом:
 - специфики выполняемой сооружением функции;
 - мощности оползня в створе проектируемого сооружения;
 - активности оползня и устойчивости площадки производства работ;
 - технических возможностей доступной строительной техники;
 - технологических возможностей по доставке и установке строительной техники в рабочее положение;
 - технологических ограничений, накладываемых смежными коммуникациями (существующими и проектируемыми);
 - доступных размеров строительной площадки и т. д.;

б) включает определение:

- диаметра свай;
- количества рядов свай;
- расстояний между сваями в ряду и между рядами;
- взаимного расположения свай в рядах (шахматное, рядовое);

в) осуществляется методом последовательных приближений и уточняется по результатам последующих расчетов конструкции.

Для удерживающих сооружений, а также защитных сооружений, отклоняющих смещение оползневых масс от объекта, расстояния между сваями в ряду и между рядами должны обеспечивать:

- достаточное сопротивление свайного поля продавливанию грунта с учетом действующих величин давления грунта на сооружение;

- удовлетворять условию совместного сопротивления смежных свай продавливанию грунта.

Минимальное расстояние между рядами свай многорядных свайных сооружений должно назначаться не менее двух диаметров, поскольку при таком расположении достигается максимальное снижение усилий в сваях за счет «рамного» эффекта.

Определение нагрузок на элементы конструкции должно производиться с учетом характера взаимодействия свай с грунтом оползня:

- в сооружениях, создающих сопротивление продавливанию грунта, давление распределяется между сваями в ряду и между рядами;
- в сооружениях, работающих в условиях обтекания свай грунтом, давление на сваи ограничивается величиной давления обтекания.

В расчетах многорядных свайных конструкций, оказывающих сопротивление продавливанию грунта, необходимо учитывать, что распределение давлений грунта между рядами свай носит неравномерный характер и существенно зависит от прочностных свойств грунтов и конфигурации свайного поля.

Распределение давлений между рядами свай может быть определено:

- для свайного поля произвольной конфигурации – расчетом численными методами;
- для двухрядного расположения свай в шахматном порядке – по графикам распределения давлений.

Давление грунта на сооружение в соответствующих пропорциях прикладывается к сваям каждого ряда в пределах их свободной длины в виде распределенных по глубине оползня нагрузок.

Расчет внутренних усилий свайной противооползневой конструкции может производиться аналитическими и численными методами (конечных элементов, конечных разностей, методов коэффициента постели и т. д.). Расчеты могут проводиться как вручную, так и с привлечением программных средств (в том числе комплексных, учитывающих взаимодействие конструкции с грунтами склона).

Применяемые методы и средства расчета должны давать возможность учитывать влияние характера заделки сваи на распределение расчетных внутренних усилий (упругих – в условиях деформируемых нескальных пород, жестких – в слабо деформируемых полускальных и скальных породах).

Расчет сооружений сложной в плане формы (к примеру, арочной), рекомендуется производить в пространственной постановке с использованием программ трехмерного моделирования.

Сооружения линейной формы в плане могут быть рассчитаны с применением плоских расчетных схем. Расчет производится в сечении, нормальном к продольной оси сооружения. Сваи сооружения проецируются в расчетную плоскость, образуя:

- при однорядном расположении свай – консольную расчетную сваю;
- при многорядном расположении свай – плоскую раму.

Величины перемещений конструкции в уровне поверхности земли с верховой и низовой стороны не должны превышать значений, допустимых по условиям нормальной безаварийной эксплуатации защищаемого объекта. Последние должны определяться по нормам проектирования соответствующих объектов и могут дополняться требованиями задания на проектирование.

Подбор армирования элементов свайного сооружения должен осуществляться на основании расчетов действующих усилий в конструкции согласно требованиям действующих нормативных документов, в частности СП 63.13330.2018 [18], СП 24.13330.2021 [19] и СП 14.13330.2018 [20]. Необходимо выполнение следующих расчетов.

1. Расчет прочности сваи на действие изгибающего момента.
2. Расчет прочности сваи на действие поперечной силы.
3. Расчет образования и ширины раскрытия трещин, нормальных к продольной оси сваи.
4. Расчет образования и ширины раскрытия трещин, наклонных к продольной оси сваи.

Заключительным этапом расчетов противооползневого свайного сооружения является проверка:

- устойчивости основания вдоль заделки свай в несмещаемые породы;
- общей устойчивости сооружения.

На основании результатов проверки принимается решение либо об изменении конфигурации сооружения и параметров свай и, соответственно, необходимости повторного расчета свайного сооружения, либо о принятии окончательного варианта сооружения.

Проверку устойчивости основания, окружающего сваю, следует производить в соответствии с требованиями В.7 СП 24.13330.2021 [19].

Расчет общей устойчивости сооружения производится с учетом прогнозных наиболее опасных поверхностей скольжения, в том числе проходящих глубже нижних концов свай.

Для изготовления буронабивных свай следует применять бетон класса прочности при сжатии не ниже В20. Проектную марку бетона по морозостойкости и водонепроницаемости следует назначать исходя из климатических, грунтовых и гидрогеологических условий района строительства свайных противооползневых сооружений.

Армирование свай следует выполнять на всю длину ствола пространственными каркасами. Расположение продольной арматуры вдоль контура поперечного сечения сваи может приниматься симметричным и несимметричным. При несимметричном расположении продольных стержней количество арматуры в растянутой зоне сечения принимают по расчету, в сжатой зоне – конструктивно. В случае однорядного расположения свай в сооружении и при условии обязательного контроля над соблюдением предусмотренной проектом ориентации арматурных каркасов в процессе производства работ допускается применять несимметричное расположение продольной арматуры.

Для продольного армирования следует использовать арматуру периодического профиля диаметром от 16 до 40 мм. Количество стержней продольной арматуры в поперечном сечении следует принимать не менее шести. Для поперечного армирования свай рекомендуется принимать гладкую арматуру диаметром не менее 8 мм. Армирование свай следует выполнять стержневой горячекатаной арматурой класса не ниже:

- продольная арматура – А300...А500 (рекомендуется не ниже А400);

- хомуты, спираль, поперечная и монтажная арматура – А240.

Минимальное расстояние между стержнями продольной арматуры в свету должно быть не менее 50 мм. Допускается спаренное расположение стержней продольной арматуры (когда стержни располагаются попарно практически без зазора в свету). Максимальное расстояние между стержнями продольной арматуры должно быть не более 400 мм. Для продольной рабочей арматуры толщина защитного слоя должна составлять не менее 50 мм.

При многорядном расположении свай, объединенных ростверком, следует принимать симметричное расположение продольной арматуры вдоль контура поперечного сечения сваи. Поперечное армирование буронабивных свай круглого сечения рекомендуется выполнять навивкой спирали из гладкой арматуры. Шаг спирали следует принимать по расчету, но не более 200 мм. Конструкция арматурного каркаса должна обеспечивать его жесткость при транспортировании и установке в проектное положение. Для повышения жесткости каркаса

необходимо устанавливать поперечные кольца жесткости из полосовой стали.

При необходимости удержания и повышения устойчивости активных оползневых масс, где удерживающие свайные элементы должны воспринимать оползневое давление непосредственно с момента их устройства, в качестве продольной арматуры рекомендуется применять жесткий арматурный каркас, к примеру, выполненный из сварной балки коробчатого или двутаврового сечения.

В аварийных ситуациях на участках активных оползневых подвижек, а также для повышения несущей способности свай в условиях отсутствия агрессивного химического воздействия грунтовой среды и грунтовых вод в качестве жесткой арматуры свай допускается применять неизвлекаемые обсадные трубы.

Для обеспечения проектной толщины защитного слоя бетона следует применять фиксирующие петли из гладкой арматуры или полосовой стали.

С целью перераспределения усилий по длине противооползневого сооружения, а также снижения нагрузок в сваях многорядных конструкций за счет «рамного» эффекта головы свай рекомендуется объединять монолитным железобетонным ростверком.

Геометрические размеры ростверка назначаются с учетом следующих конструктивных требований:

- величина свесов ростверка (расстояния от края ростверка до поверхности сваи) принимается не менее 100 мм;
- высота ростверка назначается с учетом необходимой длины анкеровки продольной арматуры свай и принимается не менее 400 мм.

Ростверк рекомендуется предусматривать горизонтальным. В случае необходимости допускается принимать наклонный ростверк с продольным уклоном не более 15 % при условии обеспечения достаточной жесткости укладываемой бетонной смеси. В случае применения подпорных стен на ростверке для обеспечения стока воды следует предусматривать поперечный уклон ростверка не менее 0,5 %. Продольное и поперечное армирование ростверка необходимо выполнять в соответствии с расчетом действующих усилий в конструкции.

Сопряжение свай с ростверком следует принимать жестким. При однорядном расположении свай допускается шарнирное сопряжение. Глубину заделки свай в ростверк следует принимать не менее 150 мм. В случае жесткого сопряжения свай с ростверком длину заделки арматурных выпусков свай в ростверк следует принимать по расчету, но

не менее $20d$ при использовании арматуры периодического профиля и не менее $40d$ при гладкой арматуре (где d – диаметр стержня). При отсутствии иного расчетного обоснования длину заделки арматуры свай в ростверк следует принимать исходя из условия равнопрочности системы арматурный стержень – бетон.

Устройство облицовочных панелей, закрывающих конструкции свай со стороны выемки под защитой противооползневого сооружения допускается выполнять из любых материалов и конструкций, подходящих по условиям климатическим, технологическим, эксплуатационным, эстетическим и другим требованиям: монолитных и сборных железобетонных панелей, металлических изделий (в том числе профилированных и гофрированных листовых материалов), пластиковых панелей и т. д. Конструкция облицовочной панели должна обеспечивать прочность и долговечность с учетом возможного давления осыпающегося грунта межсвайного пространства, а также надежность ее крепления к конструкции свайного сооружения.

При необходимости допускается делить сооружение на секции или применять в пределах оползневого (оползнеопасного) участка отдельно стоящие сооружения. При этом следует учитывать эффект пространственного воздействия оползня при различной жесткости отдельных секций. Положение деформационных швов не рекомендуется принимать в местах максимальных оползневых нагрузок (к примеру, в середине оползневого участка). Конструкция деформационных швов должна исключать поперечные смещения смежных секций относительно продольной оси сооружений. В облицовочных панелях с большой площадью поверхности нагрева в районах со значительной амплитудой температурных колебаний следует предусматривать температурно-деформационные швы. Частоту расположения температурно-деформационных швов следует назначать по результатам расчета температурных деформаций удерживающего сооружения или назначать конструктивно по требованиям соответствующих глав СП 63.13330.2018 [18].

2.2.3. Анкерные сооружения

Укрепление откоса (склона) анкерами (рис. 2.6) в зависимости от инженерно-геологических условий может быть конструктивно оформлено в виде:

- отдельных анкеров с опорными шайбами и плитами;
- групповых анкеров, опертых на упорные балки (железобетон-

ные или металлические из прокатных профилей);

– сочетания анкеров с покрытием участков откоса между ними металлической сеткой.

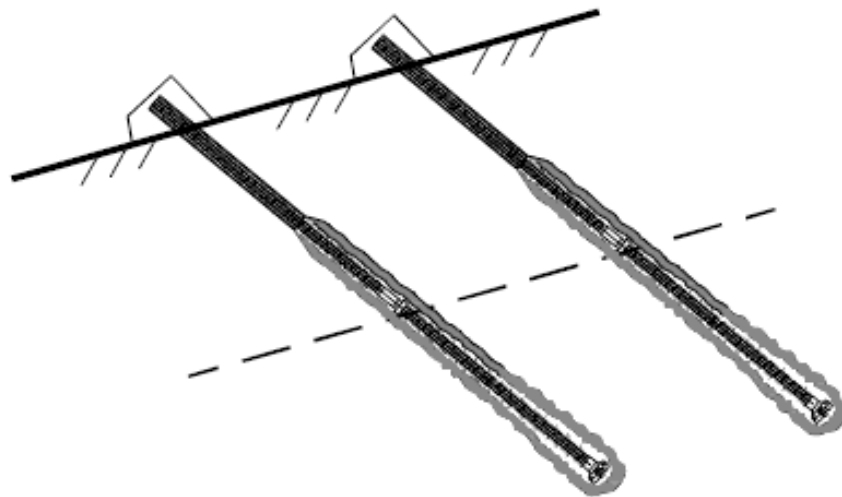


Рис. 2.6. Анкерное сооружение

При проектировании анкеров рассчитывают:

- общую устойчивость сооружения;
- несущую способность анкера в целом по грунту и материалу;
- прочность отдельных элементов, входящих в состав анкера.

В расчетах следует рассматривать потенциальный механизм возможного разрушения для всех основных составляющих материалов и поверхностей раздела (в грунтовом массиве; на контактах грунт – цементирующий раствор, цементирующий раствор – несущий элемент (анкерная тяга), несущий элемент (анкерная тяга) – оголовок, оголовок – закрепляемая конструкция), а также следует назначать коэффициент надежности, который представляет собой отношение соответствующей предельной нагрузки к рабочей нагрузке.

Оптимальное положение анкера в грунте подбирают в процессе расчета устойчивости системы сооружение – грунт – анкер на опрокидывание вокруг низа анкеруемой стенки исходя из условия, что прочность грунтов на сдвиг в системе преодолена и образуется «глобокая линия скольжения» (метод Кранца).

При проектировании анкеров следует всесторонне оценить и учесть влияние устройства и испытания анкеров на осадки фундаментов примыкающих зданий и сооружений, систему подземных коммуникаций, экологию земельного участка с точки зрения будущего строительства и др.

Расположение ярусов анкерования по высоте откоса, число ярусов и расстояние между анкерами в ярусе следует определять исходя из нагрузок, действующих на анкеруемое сооружение; допустимых осадок фундаментов примыкающих зданий, полученных на основе расчета, технико-экономического сравнения вариантов и результатов испытаний пробных анкеров. В проекте должны быть предусмотрены конструктивные и технологические мероприятия по проведению пробных испытаний анкеров.

При выборе типа и конструкции анкеров необходимо учитывать возможности подрядной строительной организации, ее опыт и оснащенность специальным оборудованием и материалами для устройства и испытания анкеров. Длина и наклон анкеров определяются из расчета на устойчивость всей системы, состоящей из сооружения анкеров и грунтового массива.

При проектировании анкеров производится расчет устойчивости на сдвиг грунта по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения и на опрокидывание вокруг низа стенки при сдвиге грунта по плоским поверхностям скольжения (метод Кранца).

Заделку анкеров, применяемых для закрепления ограждений котлованов и подпорных стен, следует располагать за воображаемой плоскостью, проходящей через низ стенки под углом 45° . Глубина от поверхности грунта до начала заделки анкеров должна быть не менее 4 м.

Расстояние между анкерами в зоне их заделки должно быть не менее 1,5 м. При меньших расстояниях между оголовками анкеров следует обеспечивать предельное расстояние между заделками, изменяя наклон анкеров или их длину. Если интервал между заделками анкеров менее 1,5 м, необходимо в пробных испытаниях проводить опытную проверку несущей способности анкеров при групповом испытании в количестве трех или пяти анкеров для оценки взаимного их влияния на несущую способность.

Расстояние от заделки анкера до фундаментов примыкающих зданий или канализационных систем должно быть не менее 3 м.

Заделку анкеров следует располагать преимущественно в однородных песчаных грунтах. Длина заделки должна быть не менее 3 и не более 10 м. Рациональная длина заделки инъекционных анкеров в песчаных грунтах 4–6 м, в пылевато-глинистых – 5–7 м. Постоянные анкеры не следует применять в грунтах, обладающих сильной и очень сильной агрессивностью к бетону.

При проектировании анкеров следует предусматривать такие конструктивные мероприятия, которые обеспечивают работоспособ-

ность строительной конструкции, удерживаемой группой анкеров, при выходе из строя одного анкера из этой группы.

Для устройства анкерных сооружений следует предусматривать инъекционные анкеры:

- самозабуриваемые (несущий элемент выполняет функцию бурового инструмента и остается в скважине по окончании проходки);
- буроопускные (несущий элемент опускается в предварительно пробуренную скважину).

Буроопускные анкеры рекомендуются к применению при наличии благоприятных инженерно-геологических условий, обеспечивающих устойчивость стенок скважин до завершения погружения и закрепления несущих элементов в грунте.

Самозабуриваемые анкеры рекомендуются к применению при наличии неблагоприятных инженерно-геологических условий, в которых устройство буроопускных анкеров затруднено; имеют сравнительно высокую стоимость.

Основными конструктивными элементами анкеров являются:

- несущий элемент (анкерная тяга);
- соединительные муфты и центраторы;
- оголовки;
- цементирующий раствор.

Несущий элемент анкера является основным его конструктивным элементом воспринимая главным образом растягивающие напряжения. Несущие элементы анкеров следует проектировать минимального диаметра, требуемого по результатам выполненных расчетов, при необходимости с учетом запаса на коррозионное разрушение.

Несущие элементы могут применяться цельными или сборными, из отдельных секций. Соединение секций несущих элементов следует предусматривать с применением неразъемных (сварка встык по ГОСТ 14098–2014 [21], склейка) или разъемных (резьбовых) соединений. Как правило, используются соединения с применением соединительных муфт, часто с дополнительной фиксацией клеем, контргайками или термоусадочными трубками. Прочность узлов соединения отдельных секций следует предусматривать не менее прочности несущих элементов.

В качестве несущих элементов буроопускных грунтовых нагелей обычно следует применять стержневую арматурную сталь периодического профиля, отдавая предпочтение термически упрочненной стали с винтовым профилем или канатной (прядевой) арматуре, применяемой в предварительно напряженных железобетонных конструкциях.

При необходимости могут применяться также несущие элементы трубчатого, уголкового или иного профиля.

Для центрирования несущего элемента в скважине и обеспечения требуемой толщины защитного слоя цементирующего раствора следует применять центраторы. Центраторы располагают по длине несущего элемента с шагом от 1,5 до 3 м, при этом первый и последний центраторы от концов несущего элемента в пределах скважины следует располагать на расстоянии половины указанного шага (при использовании конструкций заводского изготовления необходимо следовать рекомендациям производителя). Конструкция центраторов должна обеспечивать равномерное, без пустот, покрытие несущего элемента цементирующим раствором требуемой толщины (с учетом возможного прогиба несущего элемента между центраторами) и не должна препятствовать его распределению по длине скважины. В случае если слой цементного камня не учитывается в качестве средства антикоррозионной защиты, а требуемое сечение скважины обеспечивается грунтовыми условиями, допускается применение анкеров без центраторов.

В оголовках анкеров гайки и шайбы следует проектировать со сферической поверхностью, чтобы исключить перенапряжение материала тяги от внецентренного приложения нагрузки и обеспечить удобство монтажа под различными углами наклона.

Заделку анкера в грунте следует создавать нагнетанием цементирующего раствора из портландцемента, воды и при необходимости пластифицирующих добавок.

Постоянные анкеры по всей длине должны иметь равнозначную по надежности антикоррозионную защиту, степень которой следует назначать в зависимости от продолжительности эксплуатации и уровня агрессивности среды.

При отсутствии грунтовых вод, неагрессивности среды и сроке эксплуатации до двух лет постоянные анкеры можно применить без специальной антикоррозионной защиты, ограничиваясь защитой в зоне заделки цементным камнем толщиной 20 мм, а в свободной зоне анкера – цементно-бentonитовым материалом. В иных случаях следует предусматривать дополнительную антикоррозионную защиту анкеров следующими методами:

- изготовлением из коррозионностойких марок стали;
- нанесением на поверхность различных видов покрытий;
- применением защитных оболочек;
- комбинированными решениями.

Допускается отсутствие антикоррозионной защиты элементов при условии назначения размеров их сечения с запасом на коррозионное разрушение.

2.2.4. Гравитационные сооружения

Устойчивость гравитационных противооползневых сооружений обеспечивается собственным весом сооружения и/или включаемого в работу грунта.

Гравитационные противооползневые сооружения могут выполняться из сборного или монолитного железобетона, армогрунта, габионов (рис. 2.7). При проектировании гравитационных противооползневых сооружений принимается, что сооружения работают как единое целое против сдвига и опрокидывания под воздействием внешних сдвигающих сил, а их устойчивость обеспечивается собственным весом сооружения и/или включаемого в работу грунта (в случае уголкового или ступенчатого профиля).

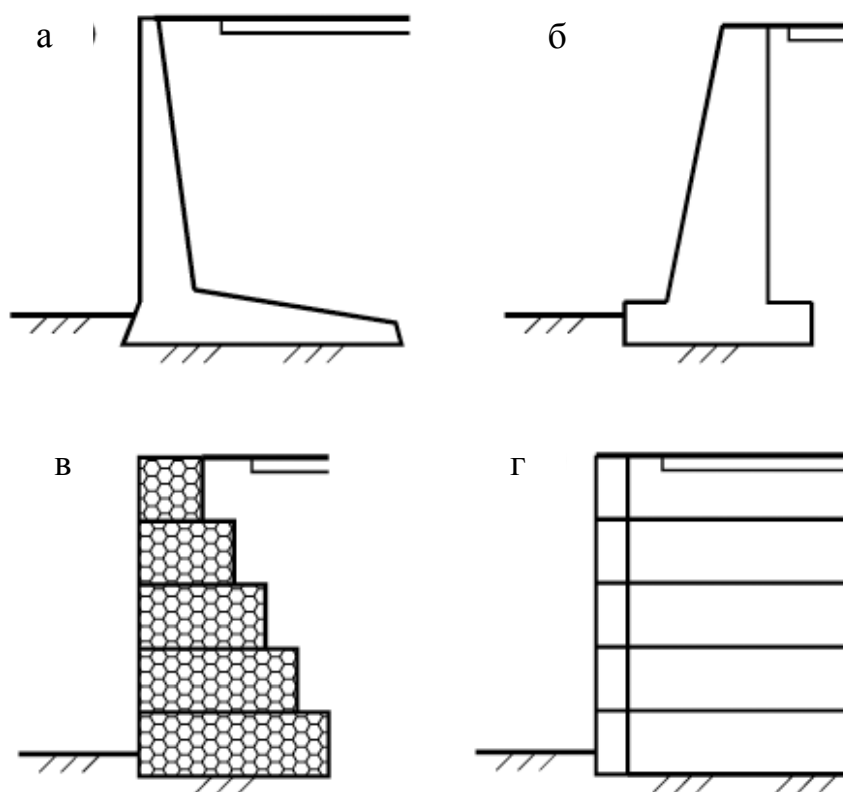


Рис. 2.7. Гравитационные противооползневые сооружения:
а – из сборного железобетона; б – сборного, монолитного железобетона, бутобетона;
в – из габионов; г – из армогрунта

Габариты удерживающих сооружений определяются длиной фронта удержания и высотой подпора грунта, т. е. разностью перепа-

да верхних и нижних планировочных отметок. При этом высота сооружений из габионов не должна превышать 7–8 м (в случае, если необходимо выполнить более высокую подпорную стену, требуется предусматривать устройство промежуточных берм, ширина которых должна быть не менее 3 м).

Предварительный размер подошвы сооружений назначается в пределах 50–70 % от высоты сооружения. Минимальные размеры сечений элементов сооружений рекомендуется назначать: для армогрунтовых и габионных – 1000 мм, для бутобетонных – 600 мм, для бетонных – 400 мм, для железобетонных – 100 мм. Основные размеры сооружений (общую высоту, ширину подошвы) следует назначать, как правило, кратными 300 мм.

Лицевые грани гравитационных сооружений могут выполняться как гладкими (вертикальными или наклонными), так и ступенчатыми.

Окончательно габариты и материалы для устройства гравитационных сооружений устанавливаются из условия обеспечения прочности, а также внешней и внутренней устойчивости.

Глубину заложения подошвы гравитационных сооружений следует назначать в соответствии с требованиями СП 22.13330.2016 [22]. Минимальная глубина заложения подошвы должна быть не менее 0,6 м в нескальных и не менее 0,3 м в скальных грунтах. При наличии кювета глубина заложения назначается от дна кювета.

При наличии в основании гравитационного сооружения слабых грунтов с расчетным сопротивлением 100–200 кПа либо пучинистых глинистых грунтов при глубине промерзания, равной или большей, чем заглубление подошвы, основанием должна служить песчаная или щебеночная подушка. Грунт естественного залегания вынимается на глубину не менее 600 мм от подошвы сооружения и заменяется песком или щебнем. Песок отсыпается слоями, поливается водой и утрамбовывается. Подушку следует выполнять в котловане с предельно крутыми откосами. Размеры подушки должны быть больше соответствующих размеров подошвы на 400 мм (по 200 мм в каждую сторону) при засыпке песком и на 600 мм (по 300 мм в каждую сторону) при засыпке котлована щебнем.

Под подошвой сооружения из монолитного железобетона следует устраивать выравнивающую бетонную подготовку толщиной 100 мм, которая должна выступать за грань подошвы не менее чем на 100 мм. Элементы сборного или монолитного бетона и железобетона следует устанавливать на подготовленное основание в виде утрамбованного в грунт щебня. Толщина слоя щебня должна приниматься не менее 100 мм и выступать за грани подошвы не менее чем на 150 мм.

Основанием габионных и армогрунтовых сооружений чаще всего служат грунты в их естественном природном состоянии.

При наличии в основании слабых грунтов (при соответствующем обосновании) может быть выполнено искусственное основание в виде свайного ростверка, каменной постели и т. д.

В продольном направлении подошву гравитационных сооружений следует принимать горизонтальной или с уклоном не более 0,02. При большем уклоне подошва выполняется ступенчатой. В поперечном направлении подошву гравитационных сооружений следует принимать горизонтальной или с уклоном в сторону засыпки не более чем 0,125.

Конструкции гравитационных сооружений из бетона, железобетона и бутобетона должны быть разделены на всю высоту (включая фундаменты) температурно-усадочными швами. Расстояния между швами следует принимать: не более 10 м – в монолитных бутобетонных и бетонных сооружениях без конструктивного армирования, 15–20 м – в монолитных бетонных сооружениях при конструктивном армировании, в монолитных, сборно-монолитных и сборных железобетонных сооружениях. При наличии в основании гравитационного сооружения неоднородных грунтов расстояния между швами должны быть уменьшены с таким расчетом, чтобы подошва фундамента каждого отсека опиралась на однородный грунт. Расстояние между швами допускается увеличивать при проверке конструкции расчетом.

Обратную засыпку пазух гравитационных сооружений следует производить дренирующими грунтами (песчаными или крупнообломочными) с последующим уплотнением. Допускается использовать местные связные грунты – супеси и сухие суглинки. Грунты засыпки необходимо трамбовать послойно до тех пор, пока величина коэффициента уплотнения будет не менее 0,95. Не допускается применять для обратных засыпок тяжелые и пластичные глины, а также грунты, содержащие более 5 % по весу органических и растворимых включений.

При проектировании армогрунтовых сооружений к материалам обратной засыпки предъявляются дополнительные требования. Для обеспечения надежной работы армогрунтовых сооружений в качестве материала, укладываемого позади лицевой грани, рекомендуется применять зернистый, свободно дренирующий материал, отвечающий следующим условиям:

1) не более 20 % от общей массы материала должно быть мельче 0,075 мм;

2) не более 10 % от общей массы материала должно быть больше 100 мм;

3) максимальный размер частиц грунта засыпки не должен быть больше 150 мм;

4) плотность материала засыпки после уплотнения должна составлять не менее $1,8 \text{ кН/м}^3$.

В качестве обратной засыпки для армогрунтовых сооружений допускается использовать различные смеси материалов (например, песка и гравия), в том числе полученных с помощью химических методов стабилизации. При этом требуется обеспечивать величину угла внутреннего трения грунта обратной засыпки не менее $28-30^\circ$.

При возможности хождения людей по поверхности засыпки в непосредственной близости к бровке необходимо устраивать перильное ограждение в соответствии с СП 35.13330.2011 [23].

При расположении гравитационных сооружений вдоль автомобильной дороги следует предусматривать тротуар шириной не менее 750 мм с колесоотбойным брусом (барьером) высотой не менее 0,4 м. В качестве колесоотбойного бруса рекомендуется применять сборные или монолитные железобетонные элементы.

Поверхность гравитационных сооружений из бетона, железобетона и бутобетона, обращенная в сторону засыпки, должна быть защищена гидроизоляцией. Допускается применение окрасочной гидроизоляции с битумными растворами или мастиками в соответствии с нормативными документами.

В лицевых элементах подпорных стен гравитационных сооружений из бетона, железобетона и бутобетона необходимо предусматривать дренажные отверстия диаметром 50 мм через 3–6 м.

На косогорных участках для отвода атмосферных вод за тыльной гранью сооружений должен быть предусмотрен водоотводный кювет. Для защиты лицевой поверхности стены сооружений от подтеков ливневой воды, особенно на косогорных участках, следует предусматривать устройство козырька или установку карнизных блоков.

Для предотвращения вымывания мелких частиц грунта в зоне контакта с обратной засыпкой, а также по основанию габионных сооружений рекомендуется укладывать фильтр из геотекстильного материала.

Армирование элементов из сборного или монолитного железобетона следует производить унифицированными арматурными сетками по ГОСТ 23279–2012 [24]. Армирование монолитных сооружений уголкового профиля производится самонесущими пространственны-

ми блоками, собираемыми из плоских сеток. При необходимости устройства шва бетонирования армирование осуществляется пространственными армокаркасами с установкой в месте шва дополнительных стыковых сеток. Армирование монолитных сооружений также может быть осуществлено отдельными стержнями.

Толщина защитного слоя бетона для рабочей арматуры в сборных железобетонных конструкциях принимается не менее 30 мм и не менее диаметра рабочей арматуры; в монолитных конструкциях – не менее 35 мм и не менее диаметра рабочих стержней. В монолитных фундаментных плитах при отсутствии бетонной подготовки защитный слой бетона для нижней рабочей арматуры должен быть не менее 70 мм.

Проверка внешней устойчивости гравитационных удерживающих сооружений включает в себя:

- расчет общей устойчивости сооружения с прилегающим склоном или откосом по круглоцилиндрическим или ломаным поверхностям скольжения;

- расчет устойчивости на сдвиг;
- расчет устойчивости на опрокидывание;
- расчет несущей способности основания.

Проверка внутренней устойчивости гравитационных удерживающих сооружений заключается в расчетах прочности элементов конструкций и узлов их соединений по наиболее опасным сечениям.

Для габионных и армогрунтовых сооружений предусматриваются некоторые специальные проверки. Так, для габионных сооружений проверка внутренней устойчивости включает в себя расчет прочности габионных конструкций в зависимости от величины нормальных напряжений, а также расчет на возможность относительного сдвига отдельных слоев габионных конструкций от действия касательных напряжений. Для армогрунтовых сооружений проверка внутренней устойчивости состоит в расчете прочности и анкерной способности армирующих панелей, что позволяет установить их необходимую длину и шаг по высоте сооружения.

При устройстве гравитационных противооползневых сооружений при прочих равных условиях предпочтение следует отдавать габионным и армогрунтовым конструкциям, поскольку они, в отличие от бутобетонных, бетонных и железобетонных, обеспечивают естественное дренирование грунтовых вод (при условии выполнения из дренирующих материалов), не приводя к возникновению барражного эффекта.

2.2.5. Комбинированные сооружения

Комбинированные сооружения проектируются в случаях, когда обеспечивается технико-экономическая эффективность одновременного применения различных технических решений в одном сооружении. Наиболее распространенными типами комбинированных сооружений (рис. 2.8) являются свайно-анкерные сооружения (при необходимости ограничения перемещений и оптимизации напряженно-деформированного состояния свайного сооружения), гравитационные сооружения на свайном основании (с целью увеличения высоты удерживаемого массива) и др.

Отдельные элементы в составе комбинированного сооружения следует проектировать согласно требованиям к соответствующим видам конструкций.

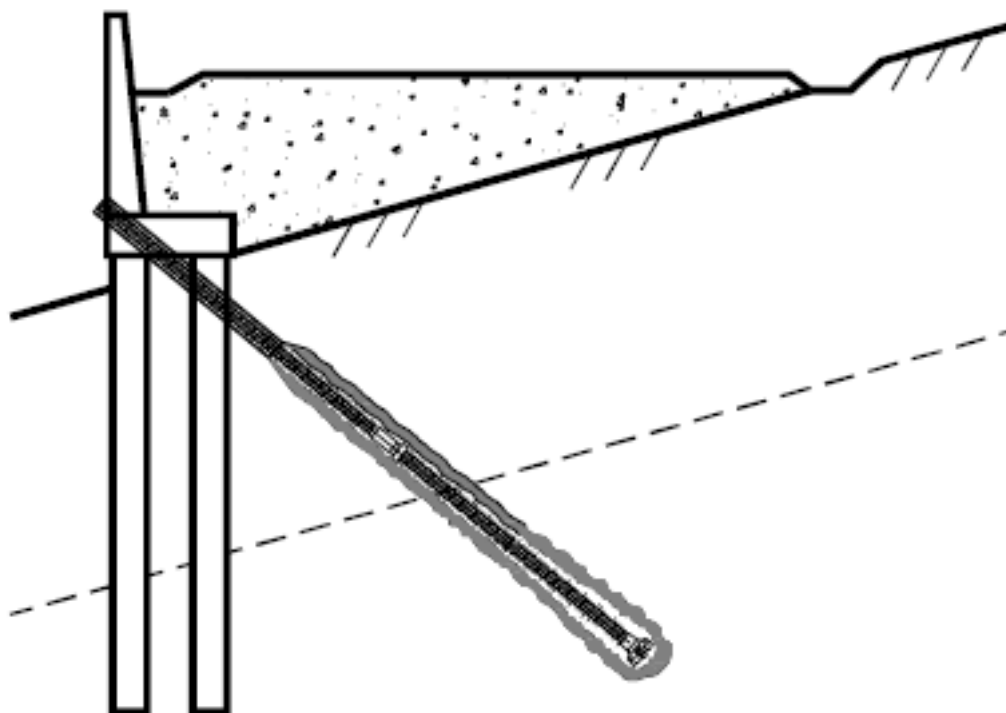


Рис. 2.8. Комбинированное свайно-анкерное сооружение

Сооружение по возможности должно перекрывать весь оползневой или оползнеопасный участок единой (сплошной) конструкцией и закрепляться в устойчивых грунтах за его пределами. При необходимости допускается делить сооружение на секции или применять в пределах оползневого (оползнеопасного) участка отдельно стоящие сооружения. При этом следует учитывать эффект пространственного воздействия оползня при различной жесткости отдельных секций.

Анкера соседних секций не должны проходить ближе 3 м к расчетной поверхности смещения соседних отдельно стоящих секций. Протяженность и расположение отдельно стоящих сооружений следует выбирать из условия обеспечения устойчивости оползневого массива между смежными сооружениями и влияния отдельных секций на смежные. Параметры конструкции должны обеспечивать прочность и устойчивость каждой секции (отдельно стоящего сооружения) на действующие и прогнозируемые оползневые нагрузки.

Расчет основных параметров свайно-анкерного сооружения должен вестись с учетом этапности производства работ. При этом обязательному рассмотрению подлежат этапы срезки основания до отметок устройства очередного яруса анкеров и максимальной подрезки.

Разрушающую силу, которая используется при разработке проектной документации, следует принимать такой, чтобы она не превышала предела прочности анкера на разрыв в конце выбранного расчетного срока службы с учетом припуска на коррозию. При вычислении таких сил необходимо принимать во внимание параметры сопротивления грунта срезу с учетом величины порового давления и ползучести скелета грунта.

При расчете сдвиговой прочности глинистого грунта засыпки необходимо использовать понижающий коэффициент к величине удельного сцепления или характеристики, полученные по схеме «плашка по плашке» по ГОСТ 12248-2010 [25].

При расчете рабочего усилия в анкере должна быть принята меньшая из следующих характеристик:

- предела текучести при растяжении;
- предельно допустимой деформации при растяжении.

В случае если свайно-анкерное сооружение возводится в непосредственной близости от другого сооружения, то следует рассмотреть взаимное влияние сооружений на их устойчивость. Такую оценку следует, как правило, выполнять с учетом этапности строительства обоих сооружений. При невозможности учета этапности строительства допускается провести соответствующее объединение сооружений с представлением комплекса в виде единого сооружения, состоящего по меньшей мере из двух отдельных конструкций.

Формы потери устойчивости свайно-анкерного сооружения:

- разрушение консоли над анкерами;
- прогиб в средней части стены;
- обрыв (деформация) анкера;
- потеря общей внешней устойчивости;

- разрушение основания в заделке свай;
- осадка свай от вертикальной нагрузки.

При назначении допустимой величины осадки следует учитывать как возможность снижения натяжения анкеров, так и допустимые деформации смежного сооружения, чувствительного к перемещениям основания.

При использовании в расчёте конструкций метода конечных элементов рекомендуется учитывать следующие факторы:

- 1) этапность строительства;
- 2) изгибную жесткость с учетом реального (прогнозного) состояния конструкций (толщину защитного слоя, коррозию, раскрытие трещин);
- 3) нелинейность физико-механических свойств грунта;
- 4) особенности напластования грунтов;
- 5) природное напряженное состояние грунта (обжатие собственным весом);
- 6) изменение с течением времени характеристик глинистых грунтов вызванное дренированием;
- 7) жесткости опор и преднапряжение в узлах крепления анкеров;
- 8) пространственную работу сооружения, позволяющую уменьшить перемещения по отношению к плоской расчетной схеме.

Применяемая модель грунта и критерий пластического течения должны соответствовать виду напряженно-деформированного состояния грунтового массива и величинам наблюдаемых деформаций.

Расчетную модель рекомендуется тестировать на чувствительность к исходным данным, изменяя прочностные и деформационные характеристики материалов на 10–20 %. Если при этом не происходит качественного изменения напряженно-деформированного состояния сооружения, то расчетную схему можно считать условно устойчивой.

Горизонтальные и поперечные нагрузки от центробежных сил на криволинейных участках дорог в расчёте свайно-анкерных сооружений не учитываются.

В начале анализа устойчивости свайно-анкерного сооружения анкера следует размещать на расстоянии $1/3$ – $1/4$ высоты стены от верха конструкции.

В расчете инженерными способами сооружения, закрепленные анкерами в несколько уровней, рассматривают как статически неопределимую упругую балку, допуская следующие упрощения:

- балка закреплена на неподвижных опорах;

- каждый этап строительства рассматривается независимо от предыдущего;

- влиянием жесткостей опор допускается пренебречь;
- допускается линейное распределение давления грунта.

Применяемые конструктивные мероприятия должны снижать чувствительность сооружения к сейсмическим нагрузкам. Для этого рекомендуется:

- увеличивать глубину заделки свай;
- увеличивать длину свободной части тяги анкера;
- дополнительно заглублять корень анкера.

Для возведения свайно-анкерных удерживающих сооружений рекомендуется использовать следующие основные конструктивные схемы:

- анкерное крепление в виде анкерной стены или небольшой свайной стенки;
- анкерное крепление через железобетонный анкерный куб или анкерную плиту;
- крепление с помощью преднапряженного грунтового анкера;
- крепление с использованием наклонных микросвай.

Постоянные анкеры в качестве оттяжек в противооползневых конструкциях должны сочетаться со свайными ростверками.

Анкерная стена и небольшая свайная стенка рекомендуются, если удерживающую стену необходимо надежно закрепить в непосредственной близости к поверхности планировки, например при устройстве автодорог вдоль набережных или причалов.

Анкерное крепление через железобетонный анкерный куб или анкерную плиту рекомендуется использовать в случае устройства искусственной насыпи в обратной засыпке. Крепление с помощью преднапряженного грунтового анкера и крепление с использованием наклонных микросвай рекомендуются для устройства свайно-анкерных сооружений при подрезке естественных склонов и откосов.

Для сопряжения анкеров со свайным рядом рекомендуется применять следующие конструктивные схемы:

- 1) заделку оголовка анкера в ростверк свайного ряда;
- 2) бурение анкера и заделку оголовка в месте стыка рабочей и забирочной свай ряда бурящихся свай;
- 3) передачу давления от анкеров на свайный ряд через горизонтальную распределительную балку, расположенную ниже ростверка;

- 4) передачу давления от анкеров на свайный ряд через вертикальные распределительные балки, расположенные ниже ростверка;
- 5) бурение анкера и заделку оголовка по центру рабочей сваи.

Оголовок анкера должен конструироваться так, чтобы выдерживать максимальное угловое отклонение растягивающего элемента до 3° .

Расчетные диаметры свай и анкеров следует принимать по техническим характеристикам применяемого оборудования с учетом особенностей использования данной технологии в аналогичных грунтовых условиях.

В свайно-анкерных сооружениях следует ограничивать применение неизвлекаемых обсадных труб. Как исключение, применение неизвлекаемых обсадных труб допускается с согласия заказчика в сложных геологических условиях только до отметки верха заделки сваи. В случае если применяется неизвлекаемая обсадная труба вторичного использования, то не допускается учитывать ее изгибную жесткость в расчете. В случае если неизвлекаемая труба новая и ее расчетный срок службы антикоррозионного покрытия совпадает со сроком службы сооружения, допускается передача нагрузки от анкера через нее.

Расстояние от подошвы фундамента или края подземного сооружения до ближайшей точки корня грунтового анкера должно быть не менее 3 м, а от поверхности планировки или естественного склона – не меньше 4 м. Расстояние от этих же объектов до центра корня грунтового анкера должно быть не менее 4,5 м. Расстояние между корнями параллельных анкеров в плане должно быть не менее 1,2 м, или три диаметра корня анкера.

Заделка анкера (корень) должна располагаться за пределами расчетной зоны обрушения, выпора или поверхности грунта. Расстояние от любой расчетной поверхности обрушения до корня анкера должно быть не менее 1,5 м, или 20 % от наибольшей высоты удерживаемого массива за период строительства и эксплуатации сооружения с учетом устройства временных траншей или прогнозного подмыва нижнего рельефа. Запрещено располагать корень анкера на границе песчаных и глинистых инженерно-геологических слоев.

Если на криволинейных участках сооружений не удастся обеспечить расстояние между анкерами одного яруса более 1,2 м, то необходимо менять углы наклона анкеров так, чтобы соблюдалось минимальное расстояние между корнями с учетом технологической погрешности на устройство скважины в данных грунтах.

Угол наклона анкеров должен обеспечивать:

- получение достаточной мощности грунта над заделкой (корнем);
- минимально допустимую (или требуемую) вертикальную пригрузку стены за счет соответствующей составляющей анкерного усилия;
- размещение анкеров ниже подземных конструкций и коммуникаций или между ними.

Конструкция оголовка анкера должна обеспечивать:

- минимальность ее габаритов;
- надежность закрепления анкера на сооружении;
- простоту натяжения и блокирования при проектном усилии;
- возможность подачи инъекционной смеси в верхнюю часть скважины для защиты тяги от коррозии, а в случае необходимости и в зону заделки анкера при повторной инъекции;
- недопустимость напряжений и излома тяги от поворота, смещения или прогиба опорной плиты, несоосной передачи усилия;
- снятие нагрузки и дополнительное загрузке анкера в процессе испытаний и эксплуатации;
- отсутствие опасных деформаций в зоне передачи прижимного усилия от анкера на сооружение.

При наличии подземных вод следует предусматривать гидроизоляцию по верховой грани подпорных стен и устройство застенного дренажа с выводом вод за пределы подпираемого грунтового массива. При этом следует учитывать влияние понижения уровня грунтовых вод на прилегающие объекты (при наличии дренажа) или барражный эффект (при отсутствии дренажа). Для повышения эффективности противооползневые свайно-анкерные сооружения рекомендуется сочетать с лучевым дренажом.

В облицовочных панелях с большой поверхностью нагрева в районах со значительной амплитудой температурных колебаний следует предусматривать температурно-деформационные швы. При наличии расчетного обоснования допускается использовать облицовочную панель в качестве распределительной балки анкеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Крупнейшими по площадям и богатейшими по запасам полезных ископаемых являются северные территории нашей страны. Промышленное освоение Севера является важнейшей народнохозяйственной задачей государства, поэтому строительство надежных автомобильных дорог круглогодичного действия на данных территориях является актуальным. Вместе с тем характерной особенностью северных районов является широкое распространение мерзлотных пород и подземных льдов, которые требует особых проектных, технических и технологических решений при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог.

Характер рельефа (его высота, глубина, крутизна склонов), а также климатические условия (колебания температуры, степень увлажнения) в зависимости от особенностей структуры, состава и дислоцированности пород в значительной степени влияют на интенсивность проявления склоновых процессов. В связи с тем, что автомобильные дороги являются линейными сооружениями, простирающимися на протяженной территории, проявление склоновых процессов следует особенно учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации данных объектов.

Современные принципы проектирования и строительства автомобильных дорог с использованием инновационных материалов и технологий, представленных в настоящем учебном пособии, позволяют эффективно разрабатывать проектные решения в сложных природных условиях (в районах распространения вечной мерзлоты или склоновых процессов).

Кроме того, следует отметить высокие производительность и надежность современной дорожно-строительной техники и оборудования, способствующие выполнению сложных технологических операций с высокой точностью и высокой скоростью с использованием интеллектуальных систем управления.

Таким образом, современные технические и технологические возможности дорожно-строительной отрасли позволяют строить качественные и надежные автомобильные дороги при любых сложных природных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация : межгос. стандарт. – Введ. 2021-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174302>
2. СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги : утв. приказом Мин-ва стр-ва и жил.-ком. хоз-ва Рос. Федерации от 09.02.21 : введ. в действие с 10.08.21. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573818172>
3. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах : утв. приказом Мин-ва стр-ва и жил.-ком. хоз-ва Рос. Федерации от 30.12.20 : введ. в действие с 01.07.21. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659326>
4. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик : межгос. стандарт. – Введ. 2016-04-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200126371>
5. Руководство по сооружению земляного полотна автомобильных дорог : утв. Минтрансстроем СССР от 17.01.80. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/5/5527/index.htm>
6. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 : утв. приказом Мин-ва регион. развития Рос. Федерации от 30.06.12 : введ. в действие с 01.07.13. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095529>
7. ГОСТ 33100-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог : межгос. стандарт. – Введ. 2016-02-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200123907>
8. Шаламова Е. Н., Чудинов С. А. Внедрение инновационных технологий, конструкций и материалов в дорожном хозяйстве // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых : матер. III Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых 07–08 февраля 2019 г. : – электрон. сб. – Омск : СибАДИ, 2019. – С. 245–248.
9. Чупров Е. Е., Чудинов С. А. Технология строительства земляного полотна лесных дорог в условиях слабых оснований // Логистические системы в глобальной экономике : матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. (21–22 марта 2019 г., Красноярск) : электрон. сб. / СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – Красноярск, 2019. – С. 434–436.
10. Байц О. Н. Повышение надежности лесовозных дорог в условиях изменения климата // Проблемы безопасности на транспорте : матер. XI Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 25–26 ноября 2021 г.) : в 2 ч. Ч. 2 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 46–48.

11. Chudinov S. Improving the physical and mechanical properties of fortified soil for road construction in the forest zone // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 817, All-Russian scientific-practical conference with international participation Actual issues of transport in the forest sector 28–29 November 2019, St. Petersburg, Russia. 012007. DOI: 10.1088/1757-899X/817/1/012007.

12. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия : утв. приказом Мин-ва регион. развития Рос. Федерации (Минрегион России) от 27.12.10 : введ. в действие с 20.05.11. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084848>

13. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения : утв. приказом Мин-ва регион. развития Рос. Федерации (Минрегион России) от 29.12.11 : введ. в действие с 01.01.13. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200094156>

14. СП 41.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений : утв. приказом Мин-ва регион. развития Рос. Федерации (Минрегион России) от 29.12.11 : введ. в действие с 01.01.13. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095549>

15. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов : утв. приказом Мин-ва регион. развития Рос. Федерации (Минрегион России) от 29.12.11 : введ. в действие с 01.01.13. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095521>

16. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции : утв. приказом Мин-ва стр-ва и жил.-ком. хоз-ва Рос. Федерации от 30.12.20 : введ. в действие с 01.07.21. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573741258>

17. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции : утв. приказом Мин-ва стр-ва и жил.-ком. хоз-ва Рос. Федерации от 27.02.17 : введ. в действие с 28.08.17. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069588>

18. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции : утв. приказом Мин-ва стр-ва и жил.-ком. хоз-ва Рос. Федерации от 19.12.18 : введ. в действие с 20.06.19. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403082>

19. СП 24.13330.2021. Свайные фундаменты : утв. приказом Мин-ва стр-ва и жил.-ком. хоз-ва Рос. Федерации от 14.12.21 : введ. в действие с 15.01.22. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/728474148>

20. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах : утв. приказом Мин-ва стр-ва и жил.-ком. хоз-ва Рос. Федерации от 24.05.18 : введ. в действие с 25.11.18. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571>

21. ГОСТ 14098-2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры. – Введ. 2015-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113772>

22. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : утв. приказом Мин-ва стр-ва и жил.-ком. хоз-ва Рос. Федерации от 16.12.16 : введ. в действие с 17.06.17. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054206>

23. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы : утв. приказом Мин-ва регион. развития Рос. Федерации (Минрегион России) от 28.12.10 : введ. в действие с 20.05.11. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084849>

24. ГОСТ 23279-2012. Сетки арматурные сварные для железобетонных конструкций и изделий. Общие технические условия : межгос. стандарт. – Введ. 2013-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097391>

25. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости : межгос. стандарт. – Введ. 2012-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084869>

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2.
Тел. 8(343)362-91-16