

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

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

**Кафедра «Проектирование, строительство
и эксплуатация транспортных объектов»**

Г. В. АХРАМЕНКО, Т. А. ДУБРОВСКАЯ

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ
УСЛОВИЯХ**

**Учебно-методическое пособие по курсовому
и дипломному проектированию**

Гомель 2018

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Проектирование, строительство
и эксплуатация транспортных объектов»

Г. В. АХРАМЕНКО, Т. А. ДУБРОВСКАЯ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ
УСЛОВИЯХ

*Одобрено учебно-методической комиссией строительного факультета
в качестве учебно-методического пособия
по курсовому и дипломному проектированию*

Гомель 2018

УДК 625.12:625.7/8
ББК 39.311
А95

Р е ц е н з е н т – генеральный директор открытого акционерного общества «Дорожно-строительный трест № 2, г. Гомель»
А. Н. Петренко

Ахраменко, Г. В.

А95 Проектирование земляного полотна автомобильных дорог в сложных природных условиях : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Г. В. Ахраменко, Т. А. Дубровская ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 51 с.
ISBN 978-985-554-732-8

Дается характеристика сложных природных условий, рассматриваются методы выбора направления трассы в этих условиях, а также особенности проектирования земляного полотна автомобильных дорог. Приводятся статический и динамический расчеты устойчивости земляного полотна на слабых основаниях.

Предназначено для использования в работе над курсовыми и дипломными проектами студентами специальности «Строительство автомобильных дорог и аэродромов».

**УДК 625.12:625.7/8
ББК 39.311**

ISBN 978-985-554-732-8

© Ахраменко Г. В., Дубровская Т. А., 2018
© Оформление. БелГУТ, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Проектирование земляного полотна в районах распространения вечномерзлых грунтов	6
1.1 Принципы проектирования автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты	6
1.2 Особенности назначения высоты насыпи и ширины земляного полотна на многолетних мерзлых грунтах	8
1.3 Конструкции земляного полотна	10
1.3.1 Конструкции земляного полотна по первому принципу проектирования	10
1.3.2 Конструкции земляного полотна по второму принципу проектирования	12
1.3.3 Конструкции земляного полотна в выемках	15
1.3.4 Конструкции земляного полотна по третьему принципу проектирования	16
1.4 Особенности расчета дорожных конструкций на прочность	17
2 Проектирование земляного полотна в болотистых районах	18
2.1 Инженерная классификация болот	18
2.2 Конструкция земляного полотна на болотах	19
2.3 Особенности проектирования земляного полотна на слабых водонасыщенных грунтах	21
2.3.1 Статический расчет прочности дорожной одежды и земляного полотна	23
2.3.2 Динамический расчет земляного полотна	30
2.4 Пример расчета	32
2.5 Мероприятия по снижению ускорений колебаний земляного полотна	36
3 Проектирование земляного полотна в районах распространения оврагов	36
4 Проектирование земляного полотна в горной местности	39
4.1 Устойчивость горных склонов и формы нарушения устойчивости склонов и откосов	39
4.2 Проектирование земляного полотна горных дорог	41
4.3 Особенности проектирования дорог по участкам осыпей и обвалов	43
4.4 Особенности проектирования дорог в районах оползней	47
4.5 Проектирование дорог в зоне образования лавин	48
Список использованной и рекомендуемой литературы	51

ВВЕДЕНИЕ

Строительство автомобильных дорог во многих районах СНГ проходит в сложных климатических, сейсмических, гидрологических и инженерно-геологических условиях. К сложным природным условиям можно отнести районы:

- распространения вечной мерзлоты;
- болотистые;
- распространения оврагов;
- распространения карстовых процессов;
- горные.

Главной особенностью территорий зоны вечной мерзлоты является то, что их освоение сопровождается образованием термокарстовых озер из-за таяния мерзлых грунтов и вытаивания жильных и погребенных льдов при нарушении мохорастительного покрова.

Болота – это избыточно увлажненные участки земной поверхности, на которых большую часть года застаивается вода. В Республике Беларусь примерно 23 % площади занято болотами. При проектировании дорог в данной местности необходимо произвести тщательное обследование болот, целью которого является выявление возможности использования торфа в качестве основания.

Овраги появляются в результате водной эрозии – процесса размыва почв и рыхлых подстилающих их пород стекающими со склонов потоками воды от дождей и таяния снега. Рациональное направление трассы в этих районах выбирается в зависимости от конфигурации овражной сети и категории дороги. При развитой сети оврагов положение дороги в обход оврагов снижает стоимость строительства, но приводит к большой извилистости трассы, перепробегу автомобилей. Поэтому дороги высших категорий прокладывают по кратчайшему направлению. При проектировании дорог низших категорий более выгодными оказываются варианты трассы с минимальным числом пересечений оврагов.

Карстовые процессы происходят в толще растворимых горных пород: гипса, известняка, каменной соли и др. В результате их растворения под действием грунтовых вод в толще земли образуются пустоты, полости, пещеры, а на поверхности – углубления, вызванные обрушением и проседани-

ем кровли полости, а также воронки, рытвины и борозды. Строительство дорог в этих районах связано с опасностью разрушения дороги при развитии карстовых явлений.

Изыскания, проектирование и строительство горных дорог представляет значительные трудности. Из-за сложного рельефа местности, крутых и неустойчивых склонов и необходимости преодоления больших разностей высот, выбор трассы дороги требует большого внимания и часто небольшое смещение трассы по склону резко меняет объёмы работ. Стоимость строительства дорог в этих районах более чем в два раза выше строительства в равнинной местности при одной и той же категории. Этим дорогам присущи следующие особенности:

- направление дороги определяется расположением горных хребтов, являющихся водоразделами бассейнов больших рек;
- переход дороги из одного речного бассейна в другой возможен только через понижения горных хребтов – седловины;
- появление вертикальной зональности – существенное различие климатических условий на разных высотах над уровнем моря;
- изменение температурного режима;
- изменение давления воздуха в высокогорных районах;
- наличие неблагоприятных явлений: осыпи, обвалы, сели, лавины и т. д.

Таким образом, проектирование и строительство автомобильных дорог в этих районах требует особенно тщательных инженерных изысканий с детальным изучением всех особенностей каждого участка трассы. Многообразие природных условий, с которыми приходится сталкиваться при проектировании автомобильных дорог, во многих случаях приводит к необходимости принимать индивидуальные решения, обусловленные сочетанием в данных конкретных условиях тех или иных климатических, геологических и других факторов [4, 7].

В данном пособии рассмотрены особенности проектирования земляного полотна автомобильных дорог в указанных районах. Наиболее подробно рассмотрено проектирование земляного полотна на слабых основаниях, в качестве которых рассматриваются торфяные грунты. Это обусловлено тем, что в Беларуси сложные природные условия представлены в основном наличием болотистой местности (Припятское Полесье). Учитывая то обстоятельство, что в Припятском Полесье (Петриковское месторождение калийных солей) принято решение об увеличении производственной мощности ОАО «Беларуськалий» и предусматривается строительство подъездных автодорог, железнодорожного пути, линии электропередач, газопровода высокого давления, водопровода питьевого и технического водоснабжения, проектирование и строительство земляного полотна на слабых основаниях является весьма актуальной проблемой.

1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Вечномерзлые грунты – это грунты, содержащие замерзшую воду и имеющие температуру менее 0 °С в течение длительного периода времени.

На нашей планете вечномерзлые (ВМ), многолетнемерзлые (ММ) и мерзлые (М) породы (грунты) являются закономерными естественно-историческими образованиями, которые характеризуются определенными законами возникновения, существования, развития и распространения.

На территории бывшего СССР площадь, занимаемая вечномерзлыми и многолетнемерзлыми грунтами, составляет 11,454 млн км², при этом в современной Российской Федерации она превышает 65 % ее территории, в том числе занимает 85 % территории Сибири, 95 % Республики Саха (Якутии) и т. д.

1.1 Принципы проектирования автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты

Обычно у поверхности земли находится слой, который ежегодно летом оттаивает, а зимой замерзает. Он называется деятельным (сезоннооттаивающим) слоем. Для инженерных целей важнейшим вопросом является изучение физических процессов в сезонноталом (деятельном) слое и определение его толщины, поскольку инженерные сооружения главным образом возводятся на и в этом слое.

Процесс постройки дороги вносит большие изменения в природный режим вечномерзлых грунтов. Влияние этих изменений необходимо всё время иметь в виду, принимая те или иные проектные решения. Вырубка деревьев и кустарников на придорожной полосе и удаление мохового покрова способствует увеличению толщины деятельного слоя. При оттаивании пылеватые льдонасыщенные вечномерзлые грунты из твердого состояния переходят в разжиженное, растекаясь под действием собственного веса.

Оттаивание вечномерзлого грунта под невысокими насыпями в зависимости от количества льда, содержащегося в грунте, вызывает дополнительные осадки или полное расползание насыпей. На участках с близким к поверхности залеганием погребенного льда при таянии на полосе отвода могут возникать провальные озера (термокарстовые явления).

Откосы выемок, разработанных в вечномерзлых грунтах и содержащих прослойки льда, при оттаивании подвержены оплывам. Наоборот, средние и высокие насыпи, создавая теплоизоляцию, способствуют поднятию уровня вечной мерзлоты, которая может входить в тело насыпи.

Наиболее распространенный во всех зонах вид деформации – пучение земляного полотна. Оно происходит вследствие объемного расширения воды в связном грунте, при этом наибольшее пучение вызвано дополнитель-

ным поступлением воды, перемещающейся в промерзающий грунт из нижележащих талых слоев грунта. Пучение интенсивно проявляется в южной части зоны вечной мерзлоты. Здесь же наблюдаются значительные деформации земляного полотна, возникающие из-за затопления его наледями. Изменение режима подземных вод и водотоков зимой при промерзании грунта часто приводит к прорыву их на поверхности и затоплению окружающей местности и дорожных сооружений, сопровождающемуся полным разрушением проезжей части.

Различные мерзлотно-грунтовые условия, характеризующиеся разными типами местности (таблица 1.1), обуславливают дифференцированный подход к проектированию и строительству земляного полотна автомобильных дорог.

Т а б л и ц а 1.1 – Типы местности по характеру поверхностного стока, степени увлажнения и мерзлотно-грунтовым условиям

Тип местности	Условия увлажнения	Характерные признаки
1-й (сухие места)	Без избыточного увлажнения. Поверхностный сток обеспечен. Естественная относительная влажность грунтов менее 0,8 от предела текучести	Каменистые возвышенности, крутые склоны сопки, песчаные и гравийно-галечниковые косы с мощностью сезоннооттаивающего слоя более 2,5 м. Грунты гравийно галечниковые, песчаные, а также супесчаные, глинистые, непросадочные*
2-й (сырые места)	Избыточное увлажнение в отдельные периоды года. Поверхностный сток не обеспечен. Естественная относительная влажность грунтов от 0,8 до предела текучести	Плоские водоразделы, пологие склоны гор и их шлейфы с мощностью сезоннооттаивающего слоя от 1,0 до 2,5 м. Грунты глинистые просадочные*
3-й (мокрые места)	Постоянное избыточное увлажнение. Водоотвод не обеспечен. Надмерзлотные и длительно стоящие (более 20 суток) поверхностные воды. Естественная относительная влажность грунтов выше предела текучести	Мари, заболоченные тальвеги, замкнутые впадины с развитым мохоторфяным покровом и малой мощностью (до 1 м) сезоннооттаивающего слоя. Грунты глинистые сильно просадочные* содержание в пределах двойной мощности сезоннооттаивающего слоя линзы льда толщиной более 10 см
* Грунты считаются условно непросадочными при относительной степени просадочности $\delta < 0,03$, просадочными – при $0,03 \leq \delta \leq 0,1$ и сильнопросадочными – при $\delta > 0,1$.		

Гидротехнические, промышленные и жилые сооружения в большинстве случаев своими фундаментами опираются на вечномёрзлую толщу, почти не меняющую своих свойств во времени. Основным элементом автомобильной

дороги – земляное полотно, которое возводится на грунтовом слое, изменяющем в годовом периоде свои свойства от воздействия природных факторов, в первую очередь – температуры воздуха и влажности грунта. Из этого следует, что устойчивость дорожной конструкции в период эксплуатации зависит главным образом от состояния грунта основания (мерзлое или талое), его вида и влажности.

В настоящее время рекомендуется использовать грунты сезоннооттаивающего слоя в качестве основания земляного полотна по одному из следующих принципов:

- первый – сохранение вечномерзлых грунтов в основании земляного полотна в течение всего периода эксплуатации дороги;
- второй – частичное оттаивание мерзлых грунтов основания на величину, определяемую расчетом;
- третий – оттаивание вечномерзлых грунтов до начала строительства дороги и осушение придорожной полосы.

1.2 Особенности назначения высоты насыпи и ширины земляного полотна на многолетних мерзлых грунтах

Как уже отмечалось, в рассматриваемой зоне проектирование плана трассы, продольного и поперечного профилей имеет ряд особенностей, обусловленных природно-климатическими и мерзлотно-грунтовыми условиями.

Наиболее экономично проектировать и строить дорогу по кратчайшему направлению между заданными грузообразующими пунктами, которому соответствует прямая линия. Однако в рассматриваемой зоне такому трассированию препятствуют не только элементы рельефа земной поверхности, встречающиеся в любых условиях (горы, овраги, реки, озера, болота), но и специфические для вечной мерзлоты явления (бугры пучения, термокарстовые впадины, участки с солифлюкционными явлениями, наледями, меандрирующие озера, скопление массивов подземного льда, мари).

Конструирование поперечных профилей земляного полотна базируется на принципах проектирования, изложенных в подразд. 1.1. При этом большое значение придается назначению высоты земляного полотна и его ширины. Высоту земляного полотна следует назначать по теплотехническому расчету, используя рекомендуемые методы расчета промерзания, протаивания грунтов и насыпей дорог, ширину земляного полотна по расчету в зависимости от габаритов преобладающего типа машин, обращающихся по дорогам [5].

Оптимальная высота насыпи определяется по следующим формулам:

- первый принцип (сохранение вечной мерзлоты):

$$H_{\text{нас}} = H_p m_r K_r K_0; \quad (1.1)$$

- второй принцип (частичное оттаивание):

$$H_{\text{нас}} = H_p(1 - f_{\text{доп}} / H_{\text{д.с}}) m_i K_r - S; \quad (1.2)$$

- третий принцип (осушение дорожной полосы):

$$H_{\text{нас}} = H_p m_i K_r [1 - S / (H_{\text{д.с}} e)], \quad (1.3)$$

где H_p – нормативная глубина оттаивания в грунте, из которого отсыпается насыпь;

m_i – коэффициент, учитывающий поглощение тепла покрытием (1,05 – цементобетонное; 1,1–1,6 – с применением органических вяжущих);

K_r – коэффициент дополнительного притока тепла в основание в результате вырубки леса, кустарника и т. п., зависит от климатического района;

K_{ω} – коэффициент, учитывающий влияние влажности грунта на глубину протаивания основания, определяется по эмпирической формуле;

$f_{\text{доп}}$ – допустимая величина пучения, зависит от вида покрытия;

$H_{\text{д.с}}$ – нормативная глубина оттаивания грунтов основания;

S – сжатие слоя мерзлого грунта после оттаивания, рассчитывается методом механики мерзлых грунтов;

e – коэффициент относительной осадки мерзлого грунта, зависящий от состава и влажности грунта и степени его уплотнения.

Обследования дорог, выполненные в течение 1964–1974 гг., показали, что в рассматриваемых районах автомобили большой грузоподъемностью составляют до 60 %.

Ширину полосы движения Π для дороги с двусторонним движением определяют по формуле [5]:

$$\Pi = \frac{K_a + C_k}{2} + 1 + 0,01v_a, \quad (1.4)$$

где K_a – ширина кузова автомобиля, м;

C_k – ширина колеи автомобиля, м;

v_a – расчетная скорость движения автомобиля, км/ч.

Полученную по расчету ширину проезжей части следует округлить до 0,5 м. Ширина обочин назначается не менее 2,5–3 м с тем, чтобы обеспечить движение гусеничного транспорта по ним и стоянку автомобилей, так как устраивать объезды в рассматриваемой зоне практически невозможно, а зачастую недопустимо (при наличии льдонасыщенных грунтов деятельного слоя).

Если взять дорогу V категории с преобладающим движением автомобилей типа БелАЗ-540, то полученная ширина земляного полотна будет равняться 14–15 м.

Например, для автомобиля типа БелАЗ-540

$$П = (3,48 + 2,70) / 2 + 1 + 0,01 \cdot 53,0 = 4,6 \text{ м.}$$

Тогда ширина земляного полотна при обочинах $c = 2,5$ м

$$B = 2П + 2c = 2 \cdot 4,6 + 2 \cdot 2,5 = 14,2 \text{ м.}$$

Принимаем $B = 14$ м. При обочинах шириной 3 м соответственно $B = 15$ м.

1.3 Конструкции земляного полотна

1.3.1 Конструкции земляного полотна по первому принципу проектирования

Проектирование по первому принципу ведут на особо сложных по мерзлотно-грунтовым условиям участках (3-й тип местности) с низкотемпературной вечной мерзлотой на глинистых сильнопросадочных грунтах с влажностью выше предела текучести, когда оттаивание грунта основания не допускается, так как может привести к недопустимым деформациям и разрушению дорожной одежды.

При проектировании автомобильных дорог по принципу обеспечения мерзлого состояния грунтов основания земляное полотно конструируют в насыпях (безрезервный поперечный профиль) из несцементированных обломочных грунтов с обязательным сохранением в неразрушенном состоянии мохорастительного покрова в основании насыпи и на всей дорожной полосе – тип I (рисунок 1.1).

В лесистой местности ширина просеки не должна превышать ширины основания насыпи. Для предохранения мохорастительного покрова от разрушения целесообразно предусматривать в нижней части прослойки из дренирующих грунтов мелких фракций (не крупнее 50–100 мм) толщиной 0,3–0,5 м – тип II (рисунок 1.2).

При необходимости уменьшения высоты насыпи или наличии дешевых местных теплоизоляционных материалов в основание земляного полотна укладывают теплоизоляционные прослойки различной толщины из местных строительных материалов, обладающих коэффициентом теплопроводности и достаточной прочностью (уплотнённые мох и торф, нестроевая древесина, шлак и другие местные или привозные теплоизоляционные материалы) – тип III (см. рисунок 1.2).

Если высокие насыпи сооружают в две стадии, то на первой (зимней) стадии применяют только несцементированные обломочные грунты – типы IV и V, а на второй (летней) допускаются глинистые грунты. В таких случаях верхнюю часть насыпи отсыпают из щебеночного или гравийного материалов слоем не менее 0,5 м – тип IV (рисунок 1.3).

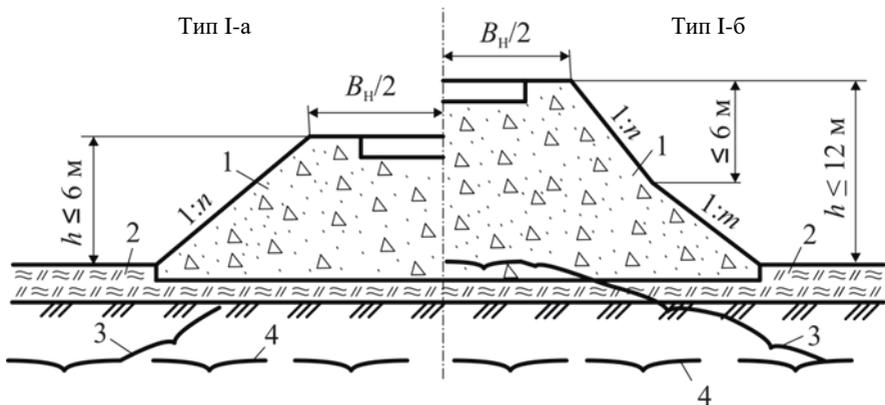


Рисунок 1.1 – Поперечные профили насыпи на льдонасыщенном основании:
 1 – несцементированный обломочный грунт; 2 – мохорастительный покров; 3 – верхняя граница вечной мерзлоты (ВГВМ) после постройки насыпи; 4 – ВГВМ до постройки насыпи

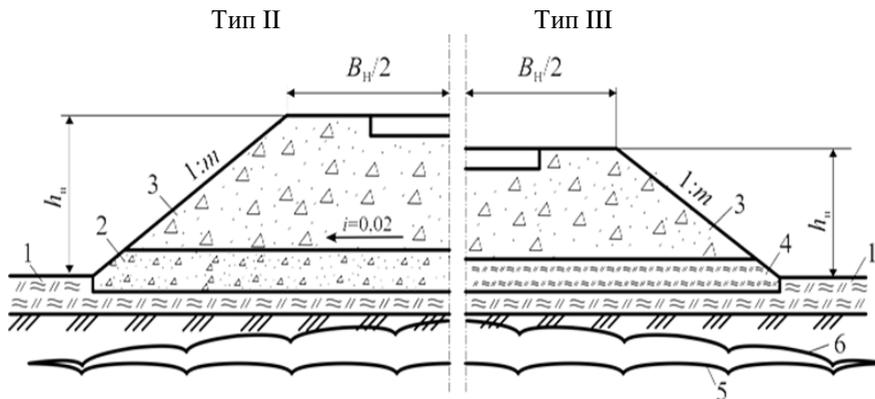


Рисунок 1.2 – Поперечные профили насыпи на льдонасыщенных грунтах:
 1 – мохорастительный покров; 2 – защитный слой из дренирующего грунта мелких фракций; 3 – несцементированный обломочный грунт; 4 – термоизоляции из мха (назначаются на основе теплотехнического расчета); 5 – ВГВМ до постройки насыпи; 6 – ВГВМ после постройки насыпи

На косогорных участках (не круче 1:5) земляное полотно проектируют в насыпи, иногда (на участках не положе 1:10) предусматривают полунасыпи-полувыемки. Во избежание нарушения мерзлотного режима местности, увеличения глубины оттаивания и снижения устойчивости сооружения уступы на косогоре не устраивают.

В низовой части откоса насыпи защищают от теплого воздействия основания присыпкой из мохоторфа или другого теплоизоляционного материала (например, пенопласта, полистирола и др.) – тип IV (рисунок 1.4).

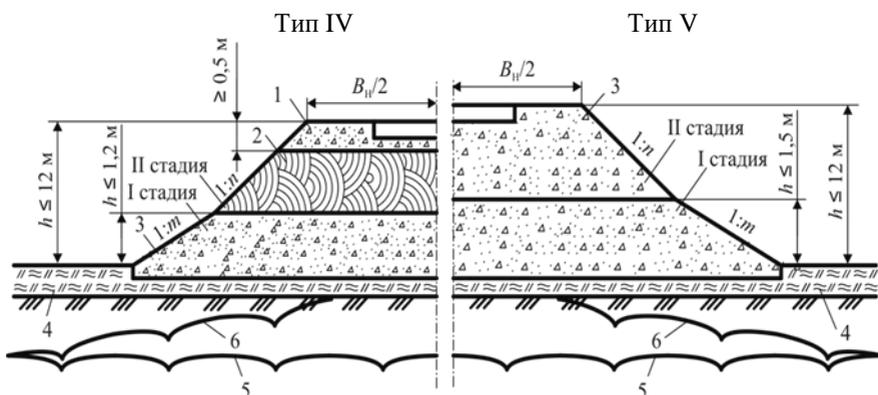


Рисунок 1.3 – Поперечные профили насыпей на льдонасыщенном основании, сооружаемые в две стадии (зимнюю и летнюю):

1 – щебень или гравий по расчету на прочность (но не менее 0,5 м); 2 – глинистый грунт; 3 – несцементированный обломочный грунт; 4 – мохорастительный покров; 5 – ВГВМ до постройки насыпи; 6 – ВГВМ после постройки насыпи

Тип VI

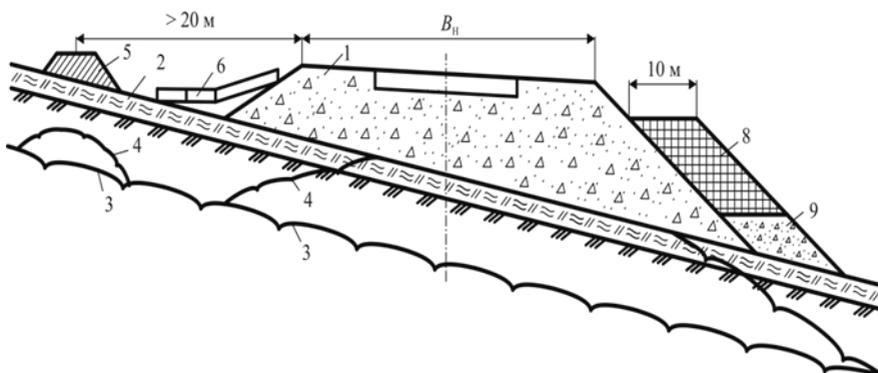


Рисунок 1.4 – Поперечный профиль насыпи на льдонасыщенном косогоре крутизной менее 1:5 :

1 – несцементированный обломочный грунт; 2 – мохорастительный покров; 3 – ВГВМ до постройки насыпи; 4 – ВГВМ после постройки насыпи; 5 – нагорный мерзлый валик; 6 – укрепление бетонными плитами на слое мохоторфа; 7 – теплоизоляция из мха или торфа толщиной не менее 0,5 м; 8 – глинистый грунт толщиной 15–20 см; 9 – дренирующая присыпка

1.3.2 Конструкции земляного полотна по второму принципу проектирования

Проектирование по второму принципу ведут на сложных по мерзлотно-грунтовым условиям участках (2-й тип местности) с низкотемпературной вечной мерзлотой на глинистых и песчаных просадочных грунтах с влажно-

стью менее предела текучести, когда прогнозируют оттаивание грунтов естественного основания с учетом допустимых деформаций покрытия в процессе эксплуатации дороги.

При проектировании автомобильных дорог по принципу ограничения глубины оттаивания грунтов основания, исходя из допустимых деформаций, земляное полотно конструируют в соответствии с поперечными профилями, приведенными на рисунках 1.1–1.4. Допускается возводить земляное полотно из местных глинистых грунтов с закладкой сосредоточенных или притрассовых резервов – тип VIII (рисунок 1.5). При этом запрещается убирать или разрушать мохорастительный покров в основании насыпи.

В случае маловлажных грунтов естественного основания и при небольшой высоте насыпи (до 1,5 м) резервы можно располагать непосредственно у подошвы насыпи – тип VIII.

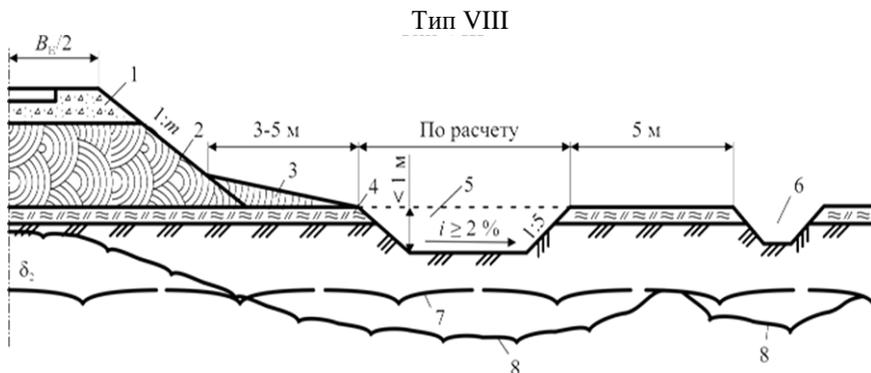


Рисунок 1.5 – Поперечный профиль насыпи из местных глинистых грунтов:
 1 – щебень или гравий по расчету на прочность (но не менее 0,5 м); 2 – глинистый грунт из притрассовых резервов; 3 – земляная берма; 4 – мохорастительный покров; 5 – резерв; 6 – водоотводная канава; 7 – ВГВМ до постройки насыпи; 8 – ВГВМ после постройки насыпи

На сырых участках местности (тип II) целесообразно предусматривать между подошвой насыпи и внутренней бровкой резерва земляные бермы шириной 3–5 м. Поверхность бермы должна иметь уклон в сторону резерва (см. рисунок 1.5).

На косогорных участках (круче 1:5) земляное полотно нижней части нужно поддерживать специальными подпорными стенками, предусматривая их заглубление в вечномерзлый грунт по расчету на выпучивание – тип IX (рисунок 1.6).

На затапливаемых участках и на подходах к мостам и другим искусственным сооружениям земляное полотно возводят из несцементированных обломочных грунтов. Бровка земляного полотна должна быть выше уровня

Высокие насыпи на затопляемых участках конструируют в соответствии с рисунком 1.8 – типы XI–XII.

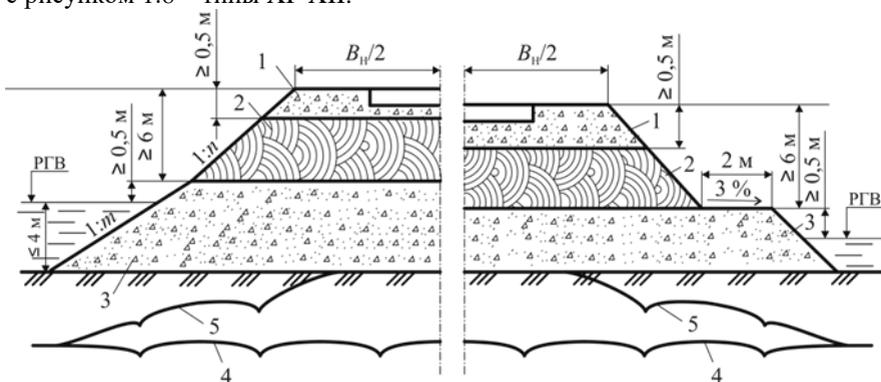


Рисунок 1.8 – Поперечные профили насыпи на затопляемой пойме (насыпь высотой до 12 м, глубина вода на пойме – до 4 м):

1 – щебень или гравий по расчету на прочность; 2 – глинистый грунт; 3 – несцементированный обломочный грунт; РГВ – расчетный горизонт вода (конструкция применима при глубине воды до 2 м); 4 – ВГМ до постройки насыпи; 5 – ВГМ после постройки насыпи

1.3.3 Конструкции земляного полотна в выемках

Как отмечалось выше, выемку в зоне вечной мерзлоты допускается проектировать главным образом на участках местности с благоприятными грунтово-гидрогеологическими условиями (скальные, щебенистые и гравелистые грунты) при отсутствии линз и прослоек – тип XIII (рисунок 1.9).

В случае разработки выемок в сложных грунтово-гидрогеологических условиях (сырые места) их нужно проектировать с соответствующим обеспечением теплоизоляции откосов, заменой переувлажненных грунтов песчаным или другим качественным материалом, с устройством в основании дорожной одежды морозозащитных слоев – тип XIV (рисунок 1.10).

Мелкие выемки раскрывают или разделяют под насыпь для повышения их устойчивости и улучшения их снегонезаносимости – тип XV (см. рисунок 1.10). Во всех случаях должен обеспечиваться надежный водоотвод из выемки.

Толщину заменяемого в выемках грунта следует определять на основании теплотехнического расчета из условия обеспечения требуемой устойчивости дорожной конструкции. В отдельных случаях при неблагоприятных грунтово-мерзлотных условиях следует устраивать закуветные полки шириной 1,5–2 м и уположение откосов выемки. Крутизну откосов выемок, устраиваемых в неблагоприятных гидрогеологических и мерзлотно-грунтовых условиях, следует назначать по индивидуальным проектам.

Тип XIII

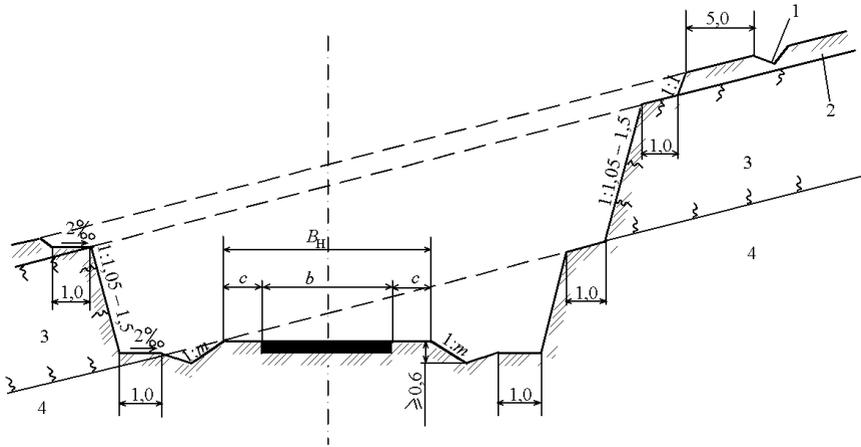


Рисунок 1.9 – Поперечный профиль выемки в скальных грунтах:

1 – нагонная водоотводная канава; 2 – растительный слой; 3 – легковетвирующаяся скальная порода; 4 – неветвирующаяся скальная порода

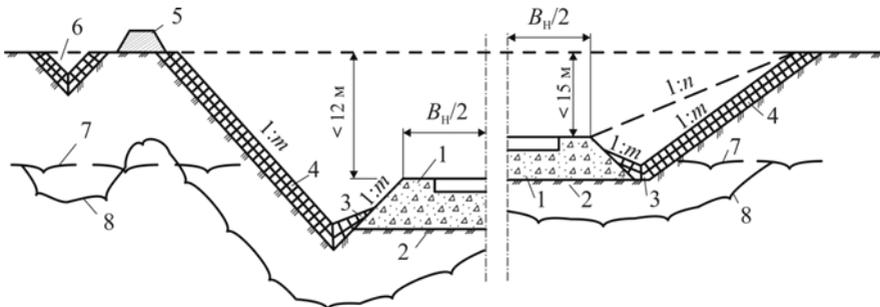


Рисунок 1.10 – Поперечные профили в слабодонасыщенных грунтах:

1 – щебень или гравий; 2 – глинистый грунт основания; 3 – укрепление бетонными плитами на слое мохоторфа; 4 – термоизоляция из мха по расчету; 5 – ВГВМ до устройства выемки; 6 – ВГВМ после устройства выемки; 7 – водоотводная канава; 1 : m и 1 : n – по расчету на снегонезаносимость; 8 – мерзлотный валик

1.3.4 Конструкции земляного полотна по третьему принципу проектирования

Проектирование по третьему принципу ведут на легкоосушаемых просадочных грунтах с влажностью менее предела текучести на участках высоко-температурной сплошной и островной вечной мерзлоты. Его применяют главным образом на сырых участках местности, когда предусматривается заблаговременное оттаивание вечномерзлых грунтов, осушение дорожной

полосы и упрочнение грунтов основания за счет их предпостроечной осадки при оттаивании.

При проектировании автомобильных дорог по принципу обеспечения оттаивания и осушения грунтов основания с учетом допускаемых деформаций земляное полотно конструируют в насыпях – типы XVI, XVII (рисунок 1.11). При этом необходимо не менее чем за год до начала основных работ расчистить дорожную полосу от леса и кустарника, сплошь снять мохорастительный покров в пределах дорожной полосы и устроить водоотводные каналы.

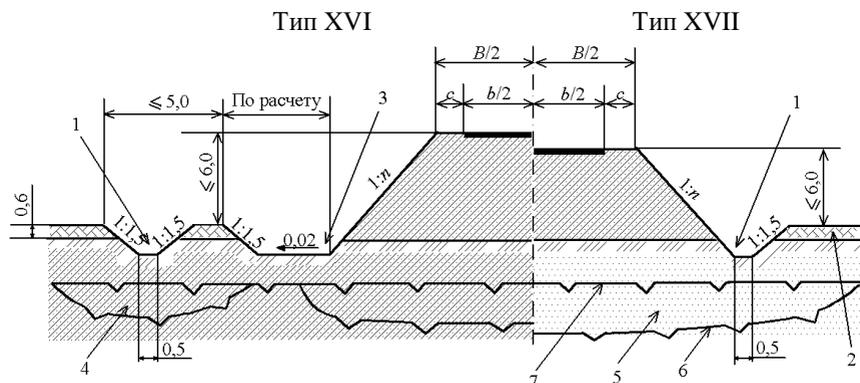


Рисунок 1.11 – Поперечные профили земляного полотна на легкоосушаемых грунтах: 1 – водоотводная канавка; 2 – мохорастительный покров; 3 – резерв; 4 – глинистый легкоосушаемый грунт с примесью крупного песка, щебня или гравия; 5 – супесчаный грунт; 6 – ВГВ до постройки насыпи; 7 – ВГВ после постройки насыпи

1.4 Особенности расчета дорожных конструкций на прочность

При расчете прочности конструкции дорожных одежд в зоне вечной мерзлоты следует учитывать основные факторы водно-теплового режима земляного полотна. При этом дорожная конструкция (земляное полотно в комплексе с дорожной одеждой) должна удовлетворять трем условиям [5]:

$$E^{\text{общ}} \geq E_{\text{тр}}; \quad (1.5)$$

$$\sigma_p \leq R; \quad (1.6)$$

$$T_a \leq [T_a], \quad (1.7)$$

где $E^{\text{общ}}$ – общий модуль упругости дорожной конструкции, МПа;

$E_{\text{тр}}$ – требуемый модуль упругости дорожной конструкции, определяемый в зависимости от расчетной нагрузки, состава и интенсивно-

сти перспективного движения и длительности расчетного периода, МПа;

σ_p – наибольшее растягивающее напряжение при изгибе в материале рассматриваемого слоя одежды, МПа;

R – предельно допустимое растягивающее напряжение при изгибе в материале конструктивного слоя с учетом усталостных явлений, МПа;

T_a – наибольшее активное напряжение сдвига в грунте или слабосвязном материале конструктивного слоя одежды, которое складывается из активных напряжений сдвига от временной нагрузки τ_a и веса вышележащих слоев τ_a , МПа;

$[T_a]$ – допустимое активное напряжение сдвига в грунте земляного полотна или в слое дорожной одежды, МПа.

Величины $E^{общ}$, $E_{тр}$, σ_p , R , T_a , $[T_a]$ определяют по рекомендациям и указаниям, приведенным в [2].

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В БОЛОТИСТЫХ РАЙОНАХ

2.1 Инженерная классификация болот

Болота – это избыточно увлажненные участки земной поверхности, на которых большую часть года застаивается вода. В Республике Беларусь примерно 23 % площади занято болотами.

По условиям расположения и питания водой различают верховые и низинные болота. Верховые образуются при застое атмосферных осадков на водораздельных участках, имеющих малые уклоны. Низинные образуются в результате зарастания водоемов.

При проектировании и строительстве дорог в заболоченных районах принята следующая укрупненная инженерная классификация болот (таблица 2.1).

При трассировании автодорог в болотистой местности болота желательно обходить, если это не вызывает значительного удлинения и извилистости. Пересекать болота следует в наиболее узком и мелком месте перпендикулярно направлению течения.

При проектировании дорог в данной местности необходимо произвести тщательное обследование болот, которое включает:

- снятие плана, продольного и поперечного профиля болот;
- зондирование;
- бурение;
- отбор и изучение образцов торфа.

Цель обследования – выявление возможности использования торфа в качестве основания.

Т а б л и ц а 2.1 – Укрупненная инженерная классификация болот

Классификация		Характеристика болот	Работа основания под насыпью
тип	подтип		
I	а	Заполненное болотными грунтами, перекрытыми слоем наносного грунта	Преимущественное сжатие без бокового выдавливания под насыпями высотой до 3 м
	б	Сплошь заполненное болотными грунтами	
II	а	Слой торфа, подстилаемый слоем сапропеля, мергеля или ила и перекрытый наносным грунтом	Содержит хотя бы один слой слабого грунта, который выдавливается при быстром возведении насыпи высотой до 3 м, но уплотняется при медленном возведении
	б	То же без наносного грунта	
III	–	Болото с торфяным слоем, плавающим на поверхности воды (сплавинные болота)	Содержит хотя бы один слой слабого грунта, который выдавливается при возведении насыпей до 3 м при любых режимах проведения работ

2.2 Конструкция земляного полотна на болотах

Земляное полотно на болотах проектируется насыпями с рекомендуемой рабочей отметкой для III типа местности по увлажнению.

К конструкции земляного полотна предъявляются следующие требования:

- исключение выдавливания слабого слоя;
- отсутствие нарастающих осадков во время эксплуатации;
- ограничения упругих деформаций значениями, допустимыми по условиям прочности дорожных одежд.

Для дорог с усовершенствованным покрытием насыпи возводятся с посадкой на минеральное дно (с выторфовыванием) – типы I-Б, II-Б, III-Б (рисунки 2.1–2.3). Тип I-Б применяется на болотах I–II типов глубиной до 4 м для дорог I–III категорий, II-Б – на болотах I–II типов глубиной до 2 м для дорог IV–V категорий, III-Б – на болотах III типа глубиной до 4 м для дорог I–V категорий [3].

Для дорог с переходными и низшими типами покрытий насыпи возводятся без выторфовывания или с частичным выторфовыванием – типы IV-Б, V-Б, IX-Б (рисунки 2.4–2.6). Тип IV-Б применяется на болотах I и II типов для дорог II–V категорий при высоте насыпи до 3 м, V-Б – на болотах I типа

для дорог III–V категорий при высоте насыпи до 3 м, IX-Б – на болотах I и II типов глубиной более 4 м для дорог II–V категорий с высотой насыпи до 3 м.

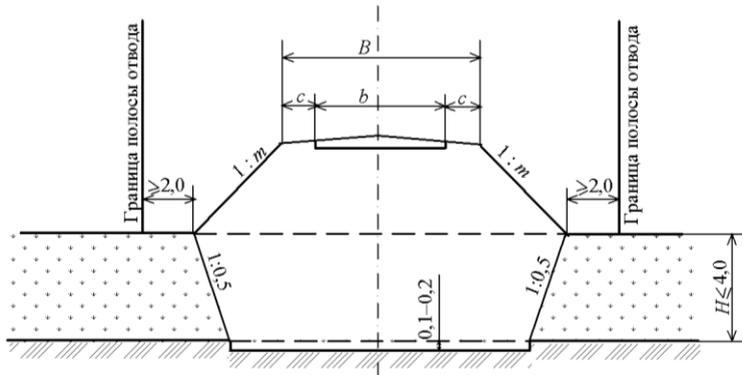


Рисунок 2.1 – Поперечный профиль земляного полотна типа I-Б

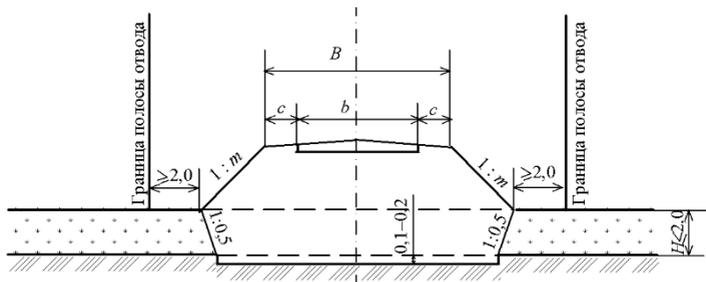


Рисунок 2.2 – Поперечный профиль земляного полотна типа II-Б

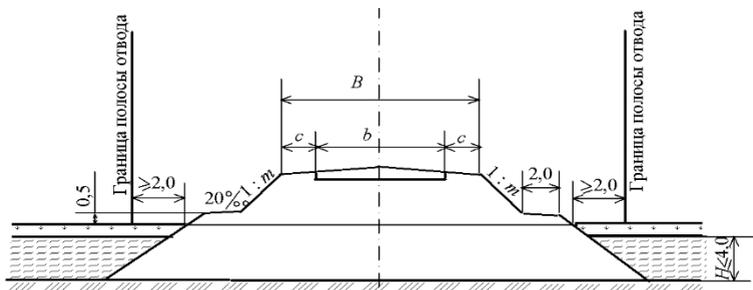


Рисунок 2.3 – Поперечный профиль земляного полотна типа III-Б

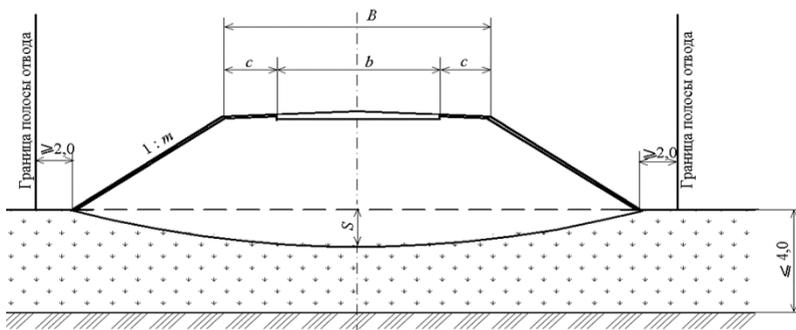


Рисунок 2.4 – Поперечный профиль земляного полотна типа IV-Б

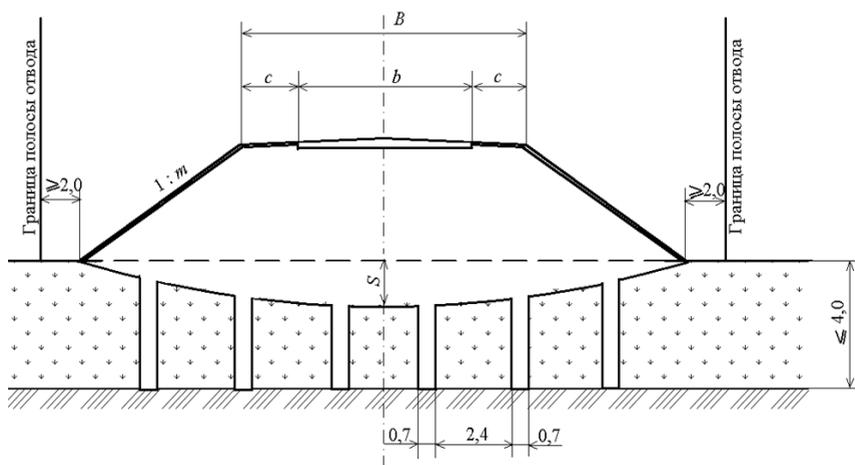


Рисунок 2.5 – Поперечный профиль земляного полотна типа V-Б

2.3 Особенности проектирования земляного полотна на слабых водонасыщенных грунтах

Земляное полотно на слабых грунтах проектируется в комплексе с дорожной одеждой с учетом общих требований, предъявляемых к ним, и следующих дополнительных требований, обусловленных особенностями слабых грунтов [3]:

- устойчивости – не допускается возможность выпора (или выдавливания) слабого грунта из-под насыпи в период ее эксплуатации;
- стабильности – не допускается устройство дорожной одежды до завершения консолидации слабого грунта в основании насыпи;

- прочности – упругие прогибы и колебания дорожной одежды и насыпи, вызываемые действием транспортной нагрузки, не должны превышать значений, допустимых для принятого типа покрытия.

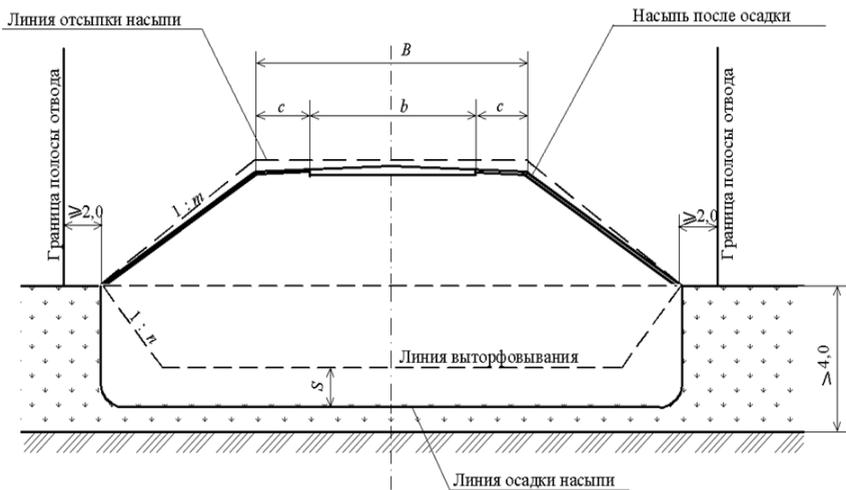


Рисунок 2.6 – Поперечный профиль земляного полотна типа IX-Б

Для исключения недопустимых упругих колебаний толщина насыпей, сооружаемых на торфяных основаниях, должна быть не менее указанной в таблице 2.2. Для насыпей на торфяном основании, толщина которых по статическому расчету меньше значений, приведенных в таблице 2.2, необходимо произвести динамический расчет с целью проверки допустимых ускорений колебаний земляного полотна по условиям вибрационной прочности покрытия.

Т а б л и ц а 2.2 – Минимальная толщина насыпного слоя

В метрах

Начальная мощность слабого слоя	Тип дорожной одежды		
	капитальный	облегченный	переходный
1	2	1,5	1,2
2	2,5	2	1,5
4	3	2,5	2
6	3	3	2,5

Примечания

1 Для промежуточных значений начальной мощности сжимаемого слоя требуемая толщина устанавливается линейной интерполяцией.

2 Толщина насыпи в данном случае определяется разностью отметок поверхности проезжей части и просевшей подошвы насыпи по оси земляного полотна. При наличии погребного слоя торфа (слоя, перекрытого сверху слоем песчаного или глинистого грунта) толщина перекрывающего слоя включается в толщину насыпи. Допускается для конструктивных слоев, обладающих прочностью на растяжение, учитывать эквивалентную толщину.

2.3.1 Статический расчет прочности дорожной одежды и земляного полотна

Расчет прочности дорожной одежды производится согласно [2] из условия, что упругий вертикальный прогиб на поверхности покрытия не превышает предельно допустимых значений. Требуемое значение модуля упругости на поверхности насыпи $E_{\text{общ. треб}}^{\text{H}}$ (рисунок 2.7) определяется по таблице 2.3 на основе известных отношений

$$H_{\text{до}} / D \text{ и } E_{\text{общ}} / E_{\text{ср. до}},$$

где $H_{\text{до}}$ – толщина дорожной одежды, см;

D – диаметр отпечатка расчетного автомобиля, см;

$E_{\text{общ}}$ – общий модуль упругости на поверхности покрытия, МПа;

$E_{\text{ср. до}}$ – средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды, МПа,

$$E_{\text{ср. до}} = \frac{E_1 h_1 + E_2 h_2 + \dots + E_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} = \sum_1^n \frac{E_i h_i}{H_{\text{до}}}, \quad (2.1)$$

E_1, E_2, \dots, E_n – модули упругости конструктивных слоев дорожной одежды, МПа;

h_1, h_2, \dots, h_n – толщина конструктивных слоев дорожной одежды, см.

Проектируемая насыпь на основании из болотного грунта должна иметь достаточную толщину, чтобы обеспечить заданную прочность дорожной одежды. Соблюдение этого требования возможно, если фактический модуль упругости системы «насыпь – болотный грунт» равен требуемому модулю упругости ($E_{\text{общ. треб}}^{\text{H}}$), полученному по результатам расчета дорожной одежды. Фактический модуль упругости на поверхности насыпи системы «насыпь – болотный грунт» определяется по формуле

$$E_{\text{общ}}^{\text{H}} = \frac{E_{\text{H}} E_{\text{T}}}{E_{\text{T}} m + E_{\text{H}} K m \eta}, \quad (2.2)$$

где E_{H} – модуль упругости грунтов насыпи, принимаемый по таблице 2.4, МПа;

E_{T} – модуль упругости болотного грунта, допускается определять по экспериментальной зависимости $E_{\text{T}} = f(\rho_d; \lambda_{\text{сж}})$, приведенной на рисунке 2.8 (ρ_d – плотность торфа в природном залегании, г/см³; $\lambda_{\text{сж}}$ – относительная деформация сжатия торфа, уплотненного массой насыпи);

m – коэффициент, учитывающий относительную толщину насыпного слоя h_{H}' / D , (таблица 2.5);

K – комплексный коэффициент, учитывающий конечные размеры слоя торфа и распределяющую способность насыпи (рисунок 2.9);

n – коэффициент, принимаемый по таблице 2.6;

η – коэффициент изменения контактного напряжения в слоях различных жесткостей, зависящий главным образом от отношения жесткостей, выражаемых модулями упругости (рисунок 2.10).

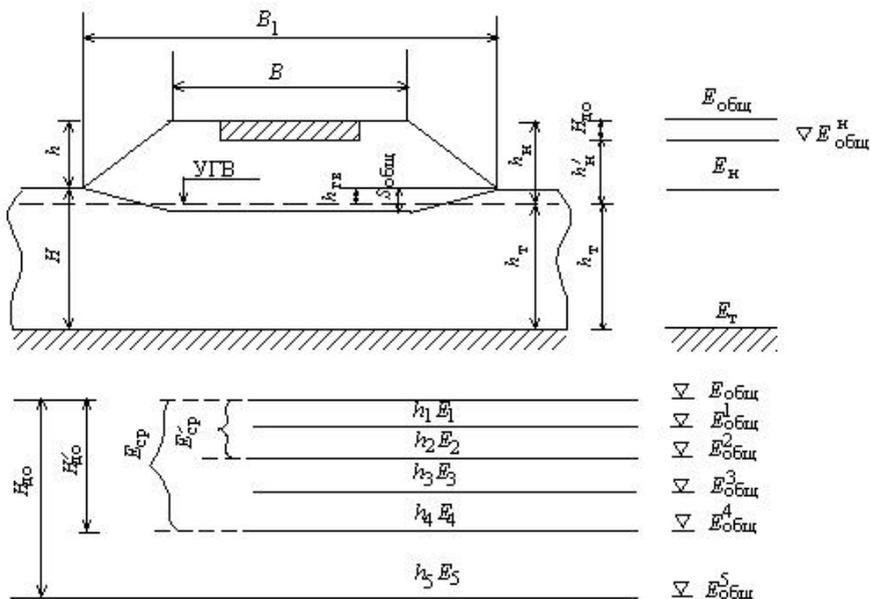


Рисунок 2.7 – Расчетная схема

Таблица 2.3 – Общий модуль упругости на поверхности насыпи

$\frac{E_{\text{ср.до}}}{E_{\text{ср.общ}}}$	$E_{\text{общ}} / E_{\text{ср.од}}$ для значений $H_{\text{од}} / D$															
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2
7	0,28	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44
8	0,26	0,28	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42
9	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,39	0,40
10	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39
11	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,37
12	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34	0,35	0,36
13	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,26	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34	0,35
14	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,34
15	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33
20	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29

Таблица 2.4 – Модуль упругости песчаных грунтов

Вид грунта	Модуль упругости, МПа (кгс/см ²)
Пески крупные и гравелистые	130 (1300)
Пески средней крупности	120 (1200)
Пески мелкие	100 (1000)

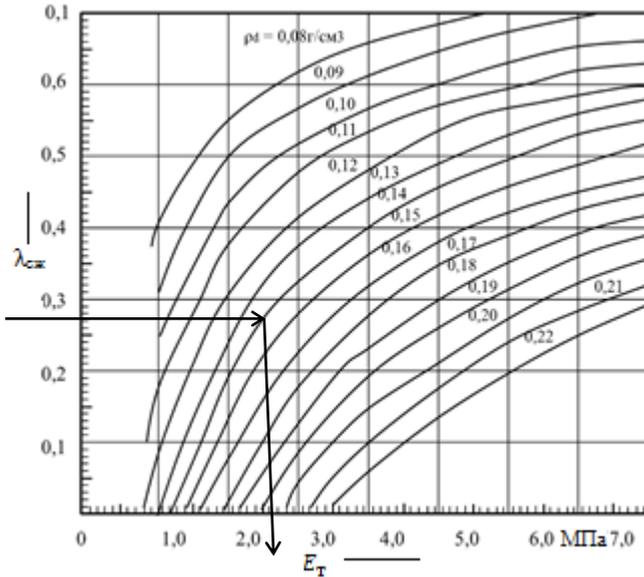


Рисунок 2.8 – Номограмма для определения модуля упругости торфяного основания

Т а б л и ц а 2.5 – Коэффициент m

h'_n/D	0,2	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
m	0,198	0,496	0,658	0,761	0,817	0,854	0,876	0,892

Окончание таблицы 2.5

h'_n/D	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0
m	0,907	0,925	0,938	0,953	0,963	0,968	0,977	0,988

В таблице 2.5 h'_n – толщина насыпного слоя, исчисляемая от низа дорожной одежды до подошвы насыпи (см. рисунок 2.7), которая определяется по формуле

$$h'_n = h + S_{\text{общ}} - H_{\text{до}}, \quad (2.3)$$

где h – высота насыпи (рабочая отметка);

$S_{\text{общ}}$ – общая осадка слабого основания,

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{сж}} + S_{\text{отд}}, \quad (2.4)$$

где $S_{\text{сж}}$, $S_{\text{отд}}$ – осадка сжимающихся (уплотняющихся) и отдавливаемых слоев болотной залежи соответственно, м;

Осадку отдавливаемых слоев болотной залежи происходит за счет выдавливания (выпора) слабых грунтов при любой скорости отсыпки насыпи, частичного выдавливания грунтов типа III (см. таблицу 2.1) при невозможности их предварительного уплотнения в течение строительного периода

вследствие того, что в силу их высокой сжимаемости низкой прочности нагрузка от возводимой насыпи растет быстрее, чем упрочнение слабого грунта, боковая деформация слабых грунтов строительного типа II (см. таблицу 2.1) при интенсивности отсыпки насыпи в первые 10 суток более 2,0 м.

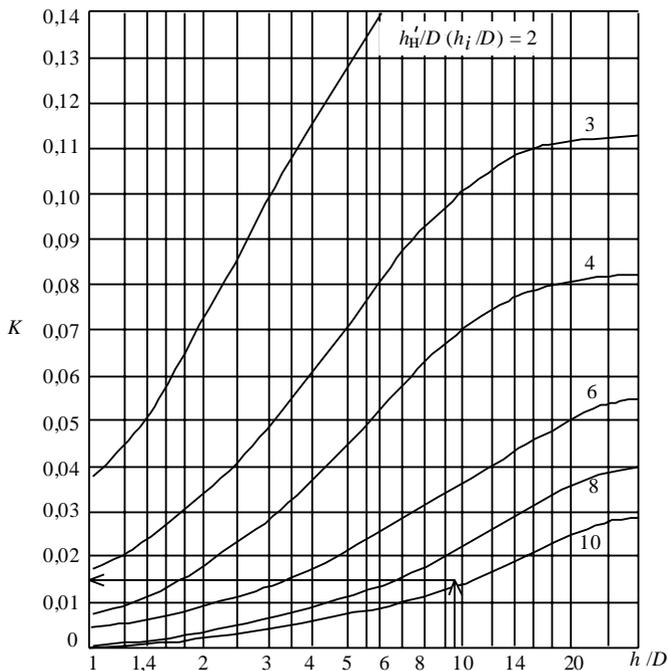


Рисунок 2.9 – График для определения коэффициента K

Осадка отдавливаемых слоев болотной залежи

$$S_{от} = \sum_1^n \lambda_{i от} h_i, \quad (2.5)$$

где $\lambda_{i от}$ – относительная деформация i -го отдавливаемого слоя толщиной h_i ;
 n – количество расчетных слоев болотной залежи.

Относительная деформация определяется по таблице 2.7 в зависимости от значений сопротивления сдвигу τ по крыльчатке расчетного слоя в природном залегании.

Осадка сжимающихся слоев болотной залежи

$$S_{сж} = \sum_1^n \lambda_{i сж} (h_i - S_{i от}), \quad (2.6)$$

где $\lambda_{i \text{ сж}}$ – относительная вертикальная деформация расчетного слоя, полученная по данным испытаний в компрессионном приборе для нагрузки, действующей на этот слой. При отсутствии данных компрессионных испытаний допускается пользоваться номограммой (рисунок 2.11), построенной на основе обобщений результатов обработки многочисленных компрессионных кривых. В качестве характеристики сжимаемости болотной залежи принимается коэффициент пористости e_0 .

Номограмма связывает четыре параметра: K_0 , P_0 , $\lambda_{\text{сж}}$ и e (средневзвешенное значение коэффициента пористости для болотной залежи) – позволяет путем одного наложения линейки, соединяющей две точки на шкалах K_0 и P_0 в точке пересечения линии с заданным e_0 найти искомое значение $\lambda_{\text{сж}}$ (см. подразд. 2.4).

Т а б л и ц а 2.6 – Коэффициент n

h'_n/D	$\leq 2,5$	3,0	3,5	4,0	4,5	$\geq 5,0$
n	5	4	3	2	1,5	1,3

При расчете осадки слабое основание разбивается на расчетные слои в соответствии с геологическим строением, прочностью и деформативными свойствами слабых грунтов и значением действующих вертикальных напряжений по глубине. Расчетная нагрузка $P_{\text{расч}}$, действующая на болотную залежь от массы возводимой насыпи, определяется с учетом положения уровня грунтовых вод

$$P_{\text{расч}} = K_0 \lambda_{\text{сж}} + P_0, \quad (2.7)$$

где K_0 , P_0 – параметры расчетной нагрузки;

$\lambda_{\text{сж}}$ – относительная осадка сжатия основания.

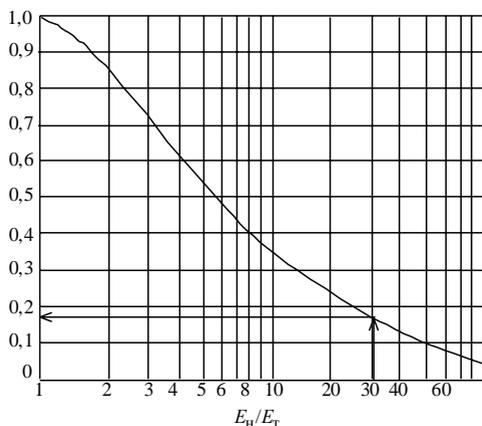


Рисунок 2.10 – График для определения коэффициента η

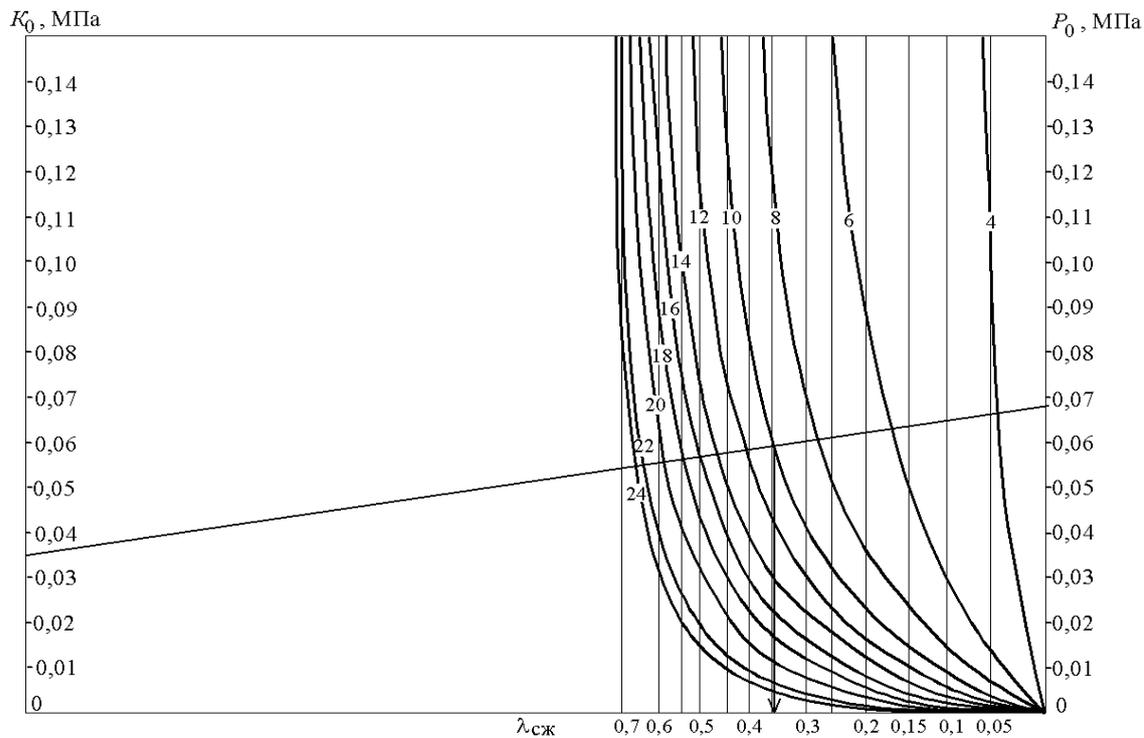


Рисунок 2.11 – Номограмма для определения осадки торфяных грунтов (цифры на кривых – коэффициент пористости e)

Параметры нагрузки K_0 и P_0 определяются по следующим формулам:

$$K_0 = \rho_{\text{H}}^{\text{B3B}} H(1 - \lambda_{\text{от}}), \quad (2.8)$$

$$P_0 = \rho_{\text{H}} (h + h_{\text{ТВ}}) + \rho_{\text{H}}^{\text{B3B}} (H\lambda_{\text{от}} - h_{\text{ТВ}}), \quad (2.9)$$

где ρ_{H} и $\rho_{\text{H}}^{\text{B3B}}$ – плотность грунта насыпи, расположенного выше и ниже уровня грунтовых вод соответственно;

H – глубина болота;

h – проектная высота насыпи (рабочая отметка);

$h_{\text{ТВ}}$ – расстояние от поверхности болота до горизонта грунтовых вод (см. рисунок 2.7).

Относительная осадка сжимающихся и отдавливаемых слоев болотной залежи определяются по формулам

$$\lambda_{\text{сж}} = \frac{S_{\text{сж}}}{H - S_{\text{от}}}; \quad (2.10)$$

$$\lambda_{\text{от}} = \frac{S_{\text{от}}}{H}. \quad (2.11)$$

Если $h_{\text{ТВ}} > S_{\text{общ}}$, то в формулах (2.8) и (2.9) принимается $\rho_{\text{H}}^{\text{B3B}} = \rho_{\text{H}}$.

Т а б л и ц а 2.7 – Относительная деформация $\lambda_{\text{от}}$

τ , МПа	$\lambda_{\text{от}}$	τ , МПа	$\lambda_{\text{от}}$	τ , МПа	$\lambda_{\text{от}}$
0,001	1,00	0,006	0,55	0,011	0,20
0,002	1,00	0,007	0,45	0,012	0,15
0,003	1,00	0,008	0,37	0,013	0,10
0,004	0,82	0,009	0,30	0,014	0,05
0,005	0,67	0,010	0,25	0,015	0,00

Учитывая, что толщина и модуль упругости торфа под насыпью зависят от толщины насыпного слоя, которая подлежит определению, расчет производится методом последовательного приближения. Высота насыпи h принимается по условиям проектирования продольного профиля, соблюдения требований водно-теплового режима, снегонезаносимости и обеспечения минимальной толщины насыпи по условиям динамического расчета земляного полотна. В первом приближении высота насыпи по условиям динамического расчета принимается при капитальных, облегченных, переходных и низших типах покрытия соответственно равной, м:

- для болот глубиной до 4 м – 1,5; 1,2; 1,0;
- более 4 м – 1,0; 0,8; 0,6.

Статический расчет земляного полотна заканчивается проверкой условия $E_{\text{общ}}^{\text{H}} \geq E_{\text{общ}}^{\text{H}} \text{ треб.}$

2.3.2 Динамический расчет земляного полотна

Динамический расчет производится только для насыпей, в основании которых залегает торф, если толщина насыпного слоя, рассчитанного статическим расчетом, менее 3 м.

Динамический расчет сводится к соблюдению следующего условия:

$$a_{\text{факт}} \leq a_{\text{доп}}, \quad (2.12)$$

где $a_{\text{факт}}$ – ускорение колебаний проектируемой насыпи на торфе, $\text{мм}/\text{с}^2$;

$a_{\text{доп}}$ – предельно допустимое ускорение колебаний насыпи на торфе, определяемое в зависимости от типа проектируемого покрытия и частоты колебаний насыпи (рисунок 2.12).

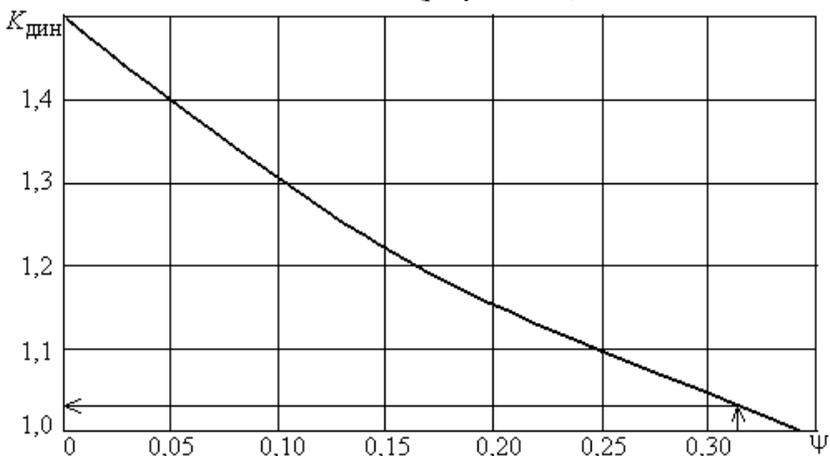


Рисунок 2.12 – График для определения динамического коэффициента

Ускорение колебаний проектируемой насыпи на торфе определяется по формуле

$$a_{\text{факт}} = A\omega^2, \quad (2.13)$$

где A – амплитуда колебаний насыпи, мм;

ω – круговая частота собственных колебаний насыпи, с^{-1} .

Амплитуда колебаний насыпи на торфе определяется по формуле

$$A = l(K_{\text{дин}} - 1),$$

где l – упругий прогиб торфяного основания, вызываемый статической нагрузкой от колеса расчетного автомобиля, мм;

$K_{\text{дин}}$ – динамический коэффициент, характеризующий увеличение прогиба за счет эффекта подвижности нагрузки (см. рисунок 2.12).

При определении частоты собственных колебаний насыпи рассматриваются два расчетных случая:

$$\begin{aligned} 1\text{-й} - h_n / h_T &\geq 0,5; \\ 2\text{-й} - h_n / h_T &< 0,5. \end{aligned} \quad (2.14)$$

Для первого расчетного случая частота собственных колебаний насыпи определяется по формуле

$$\omega = \sqrt{\frac{E_{\text{пр}}g}{P_{\text{расч}}h_n\eta a_0}}; \quad (2.15)$$

для второго –

$$\omega = \frac{1}{h_T} \sqrt{\frac{E_{\text{пр}}g}{\rho_T \left(1 + \frac{K_2}{3K_3}\right)} \cdot \frac{K_2}{K_1}}, \quad (2.16)$$

где $E_{\text{пр}}$ – приведенный модуль упругости торфа, учитывающий отсутствие боковых перемещений колеблющейся призмы торфяного основания, МПа;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$P_{\text{расч}}$ – расчетная нагрузка на основание, кг/см²;

h_n – общая толщина насыпного слоя, см;

η – коэффициент, определяемый по графику (см. рисунок 2.10);

a_0 – коэффициент М. И. Горбунова-Посадова, определяемый в зависимости от отношения $2h_T / D$ по таблице 2.8;

h_T – толщина слоя торфа под насыпью, см;

ρ_T – средняя плотность торфа, г/см³;

K_1, K_2 – коэффициенты,

$$K_1 = h_n / h_T; \quad (2.17)$$

$$K_2 = \rho_T / \rho_n, \quad (2.18)$$

ρ_n – средняя плотность грунта насыпи, г/см³.

Т а б л и ц а 2.8 – Коэффициент a_0

$2h_T / D$	a_0	$2h_T / D$	a_0	$2h_T / D$	a_0	$2h_T / D$	a_0
0,00	0,00	1,0	0,50	3	0,81	10	0,94
0,25	0,13	1,5	0,64	4	0,86	20	0,97
0,50	0,26	2,0	0,73	5	0,89	50	0,99
0,75	0,39	2,5	0,78	7	0,92	∞	1,00

Приведенный модуль упругости торфа, учитывающий отсутствие боковых перемещений колеблющейся призмы торфяного основания определяется по формуле

$$E_{\text{пр}} = E_T \frac{(1 - \mu)^2}{1 - 2\mu}, \quad (2.19)$$

где E_T – модуль упругости торфа, МПа (см. подразд. 2.3.1);

μ – среднее значение коэффициента Пуассона для торфа. При отсутствии данных испытаний допускается принимать $\mu = 0,35$. В этом случае $E_{пр} = 1,141E_T$.

Общая толщина насыпного слоя (см. рисунок 2.7) определяется по формуле

$$h_n = h + S_{общ} = H_{до} + h_n'. \quad (2.20)$$

Упругий прогиб торфяного основания вычисляется по формуле

$$l = \frac{pD}{E_T} K_{дин} n, \quad (2.21)$$

где p и D – параметры расчетной нагрузки.

Динамический коэффициент $K_{дин}$, равный отношению максимального динамического прогиба торфяного основания, вызываемого движущимся автомобилем, к величине статического прогиба, определяется по графику (рисунок 2.13) в зависимости от коэффициента демпфирования (ψ). Для 1-го расчетного случая $\psi = 8,6 / \omega$, для 2-го – $0,33E_T$.

2.4 Пример расчета

Исходные данные. Произвести расчет земляного полотна на слабом основании при следующих исходных данных:

- категория дороги – III;
- дорожная одежда – усовершенствованная облегченного типа;
- конструкция дорожной одежды: асфальтобетон мелкозернистый – $h_1 = 3$ см ($E_1 = 3200$ МПа), асфальтобетон крупнозернистый – $h_2 = 7$ см ($E_2 = 2200$ МПа), песчано-щебеночная смесь – $h_3 = 15$ см ($E_3 = 250$ МПа), песчано-гравийная смесь – $h_4 = 20$ см ($E_4 = 180$ МПа);
- требуемый модуль упругости $E_{общ} = 170$ МПа;
- грунт насыпи – песок мелкий ($E_n = 100$ МПа);
- средняя плотность грунта насыпи и материалов дорожной одежды $\rho_n = 2,1$ т/м³
- плотность грунта насыпи во взвешенном состоянии $\rho_n^{взв} = 1,1$ т/м³;
- мощность болотных грунтов: осоково-травяной торф – $h_1 = 0,6$ м ($\tau_1 = 0,012$ МПа), осоковый торф – $h_2 = 1,2$ м ($\tau_2 = 0,011$ МПа),
- осоково-гипновый торф – $h_3 = 1,8$ м ($\tau_3 = 0,014$ МПа);
- расчетный поперечник характеризуется следующими показателями: $H = 360$ см; $e_0 = 10,0$; $\rho_d = 0,140$ г/см³; $\tau = 0,012$ МПа;
- рабочая отметка насыпи – $h = 2,8$ м;
- глубина залегания грунтовых вод – $h_{гв} = 0,5$ м;
- параметры нагрузки $p = 0,6$; $D = 37$ см.

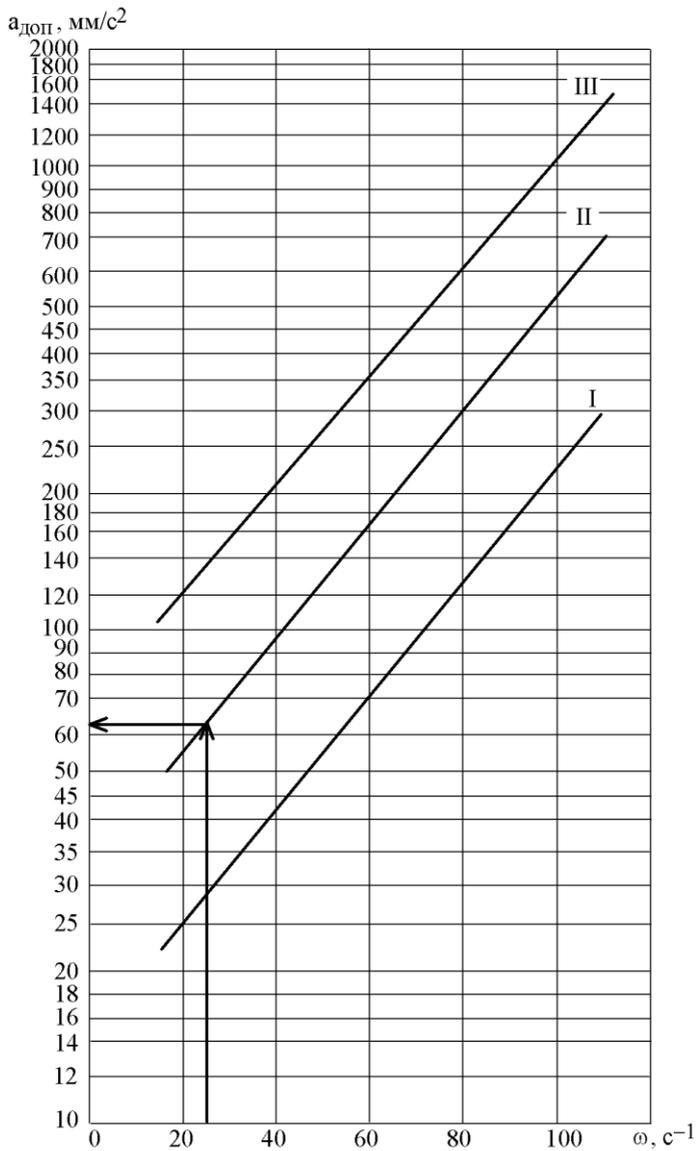


Рисунок 2.13 – Предельно допустимые ускорения колебаний земляного полотна для покрытий:
 I – усовершенствованных капитальных; II – усовершенствованных облегченных;
 III – переходного типа

Расчет прочности дорожной одежды и земляного полотна. Определяем средневзвешенный модуль упругости по формуле (2.1):

$$E_{\text{ср. до}} = \frac{3200 \cdot 3 + 2200 \cdot 7 + 250 \cdot 15 + 180 \cdot 20}{3 + 7 + 15 + 20} = 719 \text{ МПа.}$$

Для отношений $E_{\text{общ}}/E_{\text{ср. до}} = 170 / 719 = 0,24$ и $H_{\text{до}} / D = 45 / 37 = 1,22$ по таблице 2.3 находим $E_{\text{ср. до}}/E_{\text{общ. тр}} = 16$. Отсюда $E_{\text{общ. тр}} = 719 / 16 = 45 \text{ МПа}$.

Таким образом, требуемый общий модуль упругости на поверхности насыпи равен 45 МПа.

По формуле (2.5) производим расчет осадки $S_{\text{от}}$. Для определения $\lambda_{i \text{от}}$ используем таблицу 2.7. Результаты сведем в таблицу 2.9.

Т а б л и ц а 2.9 – Результаты расчетов

h_i , м	τ , МПа	$\lambda_{i \text{от}}$	$S_{i \text{от}} = \lambda_{i \text{от}} h_i$
0,6	0,012	0,15	$0,6 \cdot 0,15 = 0,09$
1,2	0,011	0,20	$1,2 \cdot 0,20 = 0,24$
1,8	0,014	0,05	$1,8 \cdot 0,05 = 0,09$
$\sum h_i = H = 3,6 \text{ м}$	–	–	$S_{\text{от}} = \sum (\lambda_{i \text{от}} h_i) = 0,42 \text{ м}$

Расчет осадки $S_{\text{сж}}$ производим по формуле (2.6). Относительную деформацию сжатия $\lambda_{\text{сж}}$ определяем по номограмме, приведенной на рисунке 2.11. Предварительно определяем параметры $\lambda_{\text{от}}$, K_0 и P_0 по формулам (2.11), (2.8) и (2.9)

$$\lambda_{\text{от}} = 0,42 / 3,6 = 0,117;$$

$$K_0 = 0,01 \cdot 1,1 \cdot 3,6(1 - 0,117) = 0,035 \text{ МПа};$$

$$P_0 = 0,01 \cdot [2,1(2,8 + 0,5) + 1,1(3,6 \cdot 0,117 - 0,5)] = 0,068 \text{ МПа.}$$

По номограмме (см. рисунок 2.11) определяем $\lambda_{\text{сж}} = 0,35$. Тогда

$$S_{\text{сж}} = 0,35(3,6 - 0,42) = 1,113 \text{ м.}$$

По формуле (2.4) определяем общую осадку слабого основания

$$S_{\text{общ}} = 0,42 + 1,113 = 1,533 = 1,53 \text{ м.}$$

Толщину насыпного слоя, исчисляемую от низа дорожной одежды до подошвы насыпи вычисляем по формуле (2.3)

$$h'_n = 2,8 + 1,53 - 0,45 = 3,88 \text{ м.}$$

Фактический модуль упругости на поверхности насыпи системы «насыпь – болотный грунт» вычисляем по формуле (2.2). Предварительно определяем все параметры, входящие в формулу. Модуль упругости торфа находим по номограмме, приведенной на рисунке 2.8 в зависимости от $\lambda_{\text{сж}} = 0,35$ и $\rho_d = 0,140 \text{ г/см}^3$ (см. исходные данные), $E_T = 3,35 \text{ МПа}$. По таблице 2.5 при $h'_n = 3,88 \text{ м}$ (4 м) принимаем значение коэффициента $m = 0,907$. По графику,

приведенному на рисунке 2.9, при $h'_n / D = 3,88 / 0,37 = 10,5$ и $h_t / D = 3,6 / 0,37 = 9,7$ определяем значение комплексного коэффициента, учитывающего конечные размеры слоя торфа и распределяющую способность насыпи $K = 0,015$. По таблице 2.4 принимаем модуль упругости грунта насыпи $E_n = 100$ МПа (песок мелкий) и по графику, приведенному на рисунке 2.10, определяем коэффициент изменения контактного напряжения в слоях различных жесткостей, $\eta = 0,17$ ($E_n / E_t = 100 / 3,35 = 29,9$). По таблице 2.6 при $h'_n / D = 3,88 / 0,37 = 10,5$ принимаем значение коэффициента $n = 1,3$. Вычисляем фактический модуль упругости на поверхности насыпи

$$E_{\text{общ}}^n = \frac{100 \cdot 3,35}{3,35 \cdot 0,907 + 100 \cdot 0,015 \cdot 1,3 \cdot 0,17} = 99,4 \text{ МПа.}$$

Полученный модуль упругости на поверхности насыпи $E_{\text{общ}}^n = 99,4$ МПа больше требуемого $E_{\text{общ тр}} = 45$ МПа, следовательно, принятая толщина насыпи обеспечит прочность дорожной одежды.

Динамический расчет земляного полотна. Определяем относительную осадку сжатия по формуле (2.10):

$$\lambda_{\text{сж}} = 1,113 / (3,6 - 0,42) = 0,35.$$

Расчетную нагрузку вычисляем по формуле (2.7):

$$P_{\text{расч}} = 0,035 \cdot 0,35 + 0,068 = 0,08 \text{ кг/см}^2.$$

По формуле (2.20) определяем общую толщину насыпного слоя

$$h_n = 0,45 + 3,88 = 4,33 \text{ м.}$$

По таблице 2.8 находим коэффициент Горбунова-Посадова α_0 , предварительно определив отношение $2h_t / D = 2 \cdot 3,6 / 0,37 = 19,5$, $\alpha_0 = 0,97$. Для определения расчетного случая вычисляем отношение h_n / h_t . В данном случае $h_n / h_t = 4,33 / 3,6 = 1,20$. Так как $1,20 > 0,5$, то принимается первый расчетный случай. Для первого расчетного случая частота собственных колебаний насыпи определяется по формуле (2.15). $E_{\text{пр}}$ при отсутствии испытаний вычисляем как $E_{\text{пр}} = 1,141 E_t = 1,141 \cdot 3,35 = 3,82$ МПа. Тогда

$$\omega = \sqrt{\frac{3,82 \cdot 9,81}{0,08 \cdot 4,33 \cdot 0,17 \cdot 0,97}} = 25,9 \text{ с}^{-1}.$$

Вычисляем упругий прогиб по формуле (2.21):

$$l = \frac{0,6 \cdot 37}{3,35} \cdot 0,015 \cdot 1,3 \cdot 0,17 = 0,022 \text{ см} = 0,22 \text{ мм.}$$

Определяем амплитуду колебаний насыпи A по формуле (2.14). Динамический коэффициент $K_{\text{дин}}$ определяем по графику, приведенному на рисунке 2.12 в

зависимости от коэффициента демпфирования ψ , который равен $8,6 / \omega$ для первого расчетного случая и $0,33 / E_t$ – для второго. Так как у нас первый расчетный случай, то $\psi = 8,6 / 25,9 = 0,33$, тогда $K_{дин} = 1,03$.

$$A = 0,22(1,03 - 1) = 0,01 \text{ мм.}$$

По формуле (2.13) определяем ускорение проектируемой насыпи

$$a_{факт} = 0,01 \cdot 25,9^2 = 6,4 \text{ мм/с}^2.$$

Предельно допустимое ускорение колебаний насыпи на торфе определяем по графику, приведенному на рисунке 2.13.

$$a_{доп} = 63 \text{ мм/с}^2.$$

Так как $a_{факт} = 6,4 \text{ мм/с}^2 < a_{доп} = 63 \text{ мм/с}^2$, то толщина насыпи по условиям динамики достаточна.

2.5 Мероприятия по снижению ускорений колебаний земляного полотна

В случаях, когда не выполняется условие (2.12), обеспечивающее допустимые колебания насыпи на торфе, которая находится под действием динамической нагрузки, намечаются мероприятия по снижению колебаний.

Основным и наиболее простым способом снижения ускорений колебаний земляного полотна на торфяном основании является увеличение толщины насыпного слоя, что обеспечивает уменьшение частот и амплитуд колебаний и, в конечном счете, снижает ускорение колебаний.

Если по условиям продольного профиля поднятие насыпи нежелательно, то для увеличения толщины насыпного слоя можно пользоваться методами перегрузки или частичного выторфовывания.

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОВРАГОВ

Овраги появляются в результате водной эрозии – процесса размыва почв и рыхлых подстилающих их пород стекающими со склонов потоками воды от дождей и таяния снега.

Выбор направления трассы в овражистой местности в значительной степени зависит от положения населенных пунктов, между которыми прокладывается дорога.

Рациональное направление трассы выбирается в зависимости от конфигурации овражной сети и категории дороги. При развитой сети оврагов положение дороги в обход оврагов снижает стоимость строительства, но приводит к большой извилистости трассы, перепробегу автомобилей. По-

этому дороги высших категорий прокладывают по кратчайшему направлению. При проектировании дорог низших категорий более выгодными оказываются варианты трассы с минимальным числом пересечений оврагов.

При обходе оврага трасса располагается на расстоянии 50–100 м от вершины его отвешка, при этом обязательно предусматриваются мероприятия по закреплению оврага. Земляное полотно автомобильной дороги при обходе оврагов проектируется обычным способом с применением типовых поперечных профилей земляного полотна [3].

При пересечении автомобильной дорогой небольших оврагов, когда высота насыпи не превышает 10–12 м, целесообразно устраивать придорожные пруды и водосемы. Бровка плотины должна возвышаться над поверхностью зеркала водохранилища на 0,75–1,0 м. Ширина плотины принимается равной ширине земляного полотна дороги.

Для отсыпки плотин могут быть использованы местные грунты. Откос со стороны пруда укрепляется одиночным или двойным мощением на щебне или каменной наброской, низовой откос – одерновкой, засевом трав, редко – мощением.

Поперечные профили плотин приведены на рисунке 3.1. Наиболее простой и распространенный случай – плотина из однородного тщательно уплотненного грунта (рисунок 3.1, а). При опасности фильтрации через основание плотины должен быть устроен противофильтрационный зуб (рисунок 3.1, б), а если плотина отсыпается из песка – экран из глины или суглинка (рисунок 3.1, в). Если недалеко от основания плотины находятся водонепроницаемые грунты, из которых отсыпана и сама плотина, то для предотвращения опасности фильтрации в ее теле закладывается водонепроницаемое ядро, которое должно входить в подстилающий водонепроницаемый грунт (рисунок 3.1, г).

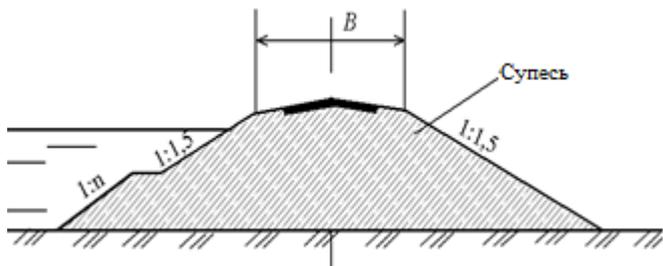
Если грунт, из которого возведена плотина, допускает просачивание большого количества воды, то для предотвращения выхода ее на низовой откос и размыва с низовой стороны закладывается дренаж, перехватывающий и отводящий воду. Дренаж выполняется в виде каменной призмы, отделенной от тела плотины слоями фильтрующего материала, постепенно уменьшающейся крупности (см. рисунок 3.1, з).

Поперечный профиль плотины отличается от дорожной насыпи лишь более пологими откосами, крутизна которых приведена в таблице 3.1.

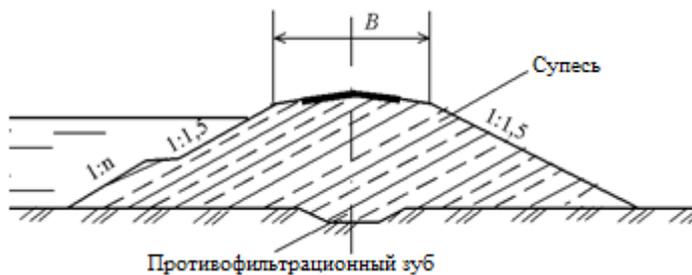
Т а б л и ц а 3.1 – Крутизна откосов плотины

Откос	Коэффициент заложения откосов при расчетной высоте плотины					
	менее 5 м		5–10 м		более 10 м	
	глинистые	песчаные	глинистые	песчаные	глинистые	песчаные
Верховой	1:2	1:2 ... 1:2,5	1:2,5	1:2 ... 1:3	1:3	1:3
Низовой с дренажем	1:1,5	1:2	1:1,75	1:2	1:1,75	1:2
Низовой без дренажа	1:1,75	1:2	1:2	1:2,25	1:2,25	1:2,25

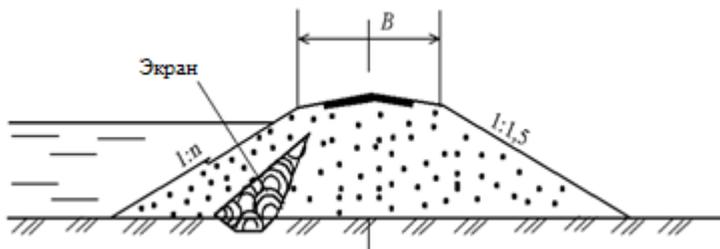
а)



б)



в)



г)

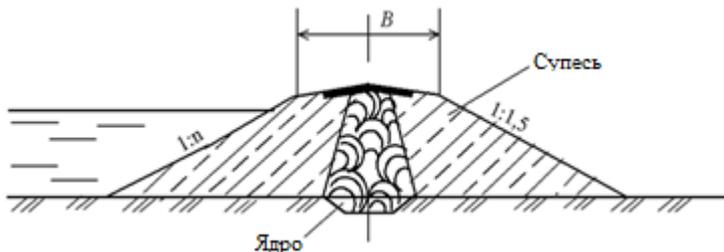


Рисунок 3.1 – Поперечный профиль плотины:
а – из однородных грунтов; б – с противофильтрационным зубом;
в – с экраном; г – с водонепроницаемым ядром и дренажем

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

Изыскания, проектирование и строительство горных дорог представляют значительные трудности. Из-за сложного рельефа местности, крутых и неустойчивых склонов и необходимости преодоления больших разностей высот, выбор трассы дороги требует большого внимания и часто небольшое смещение трассы по склону резко меняет объёмы работ. Стоимость строительства дорог в этих районах более чем в два раза выше строительства в равнинной местности при одной и той же категории.

При строительстве дорог в горах приходится выполнять большие объёмы скальных работ, применяя взрывчатые вещества, устраивать подпорные и одевающие стенки. При неблагоприятных геологических условиях: оползнях, осыпях, селевых выносах – необходима постройка специальных сооружений, обеспечивающих устойчивость земляного полотна.

Этим дорогам присущи следующие особенности:

- направление дороги определяется расположением горных хребтов, являющихся водоразделами бассейнов больших рек;
- переход дороги из одного речного бассейна в другой возможен только через понижения горных хребтов – седловины;
- появление вертикальной зональности – существенное различие климатических условий на разных высотах над уровнем моря;
- изменение температурного режима. Температура воздуха в горах ниже, чем в долинах. Понижение составляет примерно 0,5 °С на 100 метров подъёма. Наблюдаются также случаи обратного распределения температуры (инверсия), когда в замкнутых долинах и низинах собирается более плотный холодный воздух;
- изменение давления воздуха в высокогорных районах. Изменение давления на 1 мм ртутного столба соответствует разности высот, называемой “барометрической ступенью”, величина которой в зависимости от давления и температуры воздуха колеблется от 10 до 17 метров.
- наличие неблагоприятных явлений: осыпи, обвалы, сели, лавины и т. д.

4.1 Устойчивость горных склонов и формы нарушения устойчивости склонов и откосов

Многообразные классификационные разновидности залегания пластов применительно к проложению дорог по склонам могут быть сведены к нескольким схематизированным типам [4] (рисунок 4.1).

При врезке полотна дороги в склон, откос выемки прорезает напластования, изменяя напряжённое состояние склона, сложившееся в течение его длительной геологической истории. У контуров врезки в горные породы, аналогично отверстиям и вырезам в деталях машин, возникает концентрация

напряжений. Сплошность отдельных слоёв нарушается, и устойчивость, ранее создаваемая в результате опирания, начинает обеспечиваться только сопротивлением сдвигу внутри слоя и по контакту с подстилающими слоями. В некоторых случаях обнажённые слои, ранее закрытые более устойчивыми породами, начинают быстро выветриваться.

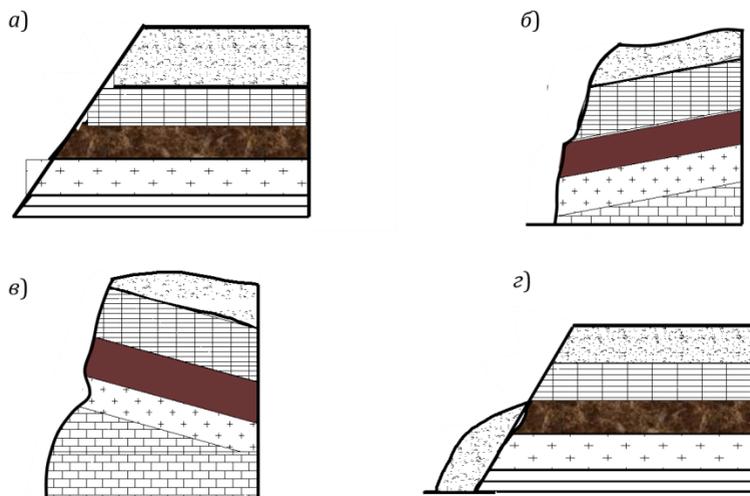


Рисунок 4.1 – Структуры склонов:

a – горизонтальное залегание пластов; *б* – падение пластов в сторону склона; *в* – падение пластов внутрь склона; *з* – прислойное залегание более молодых пород

При подрезании слоёв на склонах особенно опасны осадочные породы, в толще которых могут залегать прослойки глины, теряющей сцепление при проникании воды, а также метаморфические сланцы.

Изверженные породы более прочны и могли бы быть устойчивы в откосах при любом направлении напластований. Однако поскольку в поверхностных слоях они всегда в той или иной степени трещиноваты в результате выветривания и тектонических процессов, необходимо считаться с возможностью потери устойчивости отдельных массивов, выделенных трещинами. Активизации и развитию этих процессов способствует производство скальных работ взрывным способом, при котором образуются трещины.

Формы нарушения устойчивости склонов и откосов следующие (рисунок 4.2):

- осыпание с крутых склонов продуктов выветривания;
- обвалы отдельных камней и обломков с уступов в трещиноватых скалистых породах;

- сплав поверхностных слоёв грунтовых склонов в результате переувлажнения;
- пластичное оползание глинистых склонов со скоростью в несколько сантиметров в год;
- обрушение части однородной грунтовой толщи при чрезмерной крутизне откоса по поверхности скольжения;
- смещение части грунта по подстилающим поверхностям в результате потери сцепления в зоне контакта;
- обрушение с образованием вертикальной трещины и боковым смещением отделившегося блока в результате выжимания слабых подстилающих грунтов.

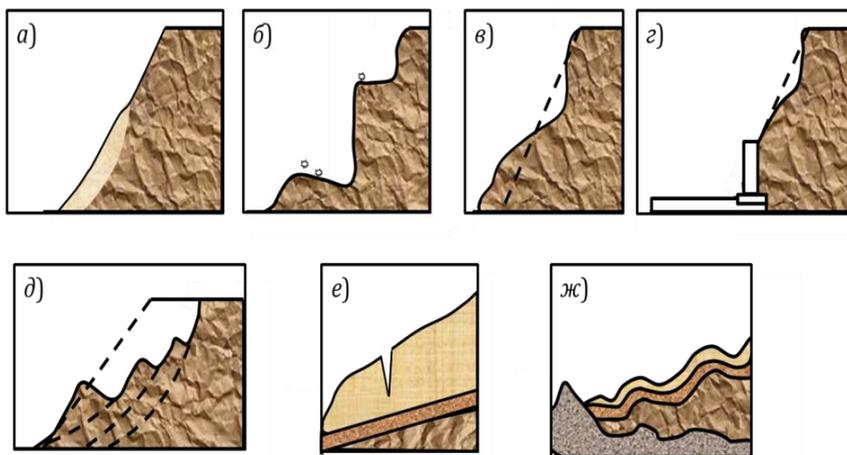


Рисунок 4.2 – Формы нарушений устойчивости и деформаций склонов:
a – осыпь; *б* – камнепад; *в* – оплывание откоса; *г* – пластическое течение глинистых откосов;
д – оползень с образованием криволинейной поверхности сдвига; *е* – оползень по фиксированной поверхности сдвига; *ж* – обрушение, вызванное выжиманием пластической прослойки

4.2 Проектирование земляного полотна горных дорог

Земляное полотно горных дорог на большей части их протяженности сооружается на косогорах. Для устойчивости насыпи против оползания при поперечном уклоне местности 1:5 и более на косогорах после удаления дерна делают уступы шириной 1–4 м с поперечным уклоном в низовую сторону 10–20 ‰ – рисунки 4.3–4.5. Откосам насыпей и выемок придается заложение в соответствии с прочностью горных пород.

Расположение дороги на косогоре в полунасыпи-полувыемке (см. рисунок 4.3) с уравновешенными объемами работ теоретически соответствует минимальным объемам работ. Однако при отсыпке насыпной части земляного

полотна теряется много грунта, скатывающегося вниз. Разделка склона ступенями не обеспечивает достаточно надежной связи насыпи с естественным склоном и т. д. Поэтому в последнее время, особенно на дорогах I–III категорий, размещают земляное полотно исключительно в открытой с одной стороны выемке, вырезаемой в косогор – своеобразной полке (рисунок 4.6).



Рисунок 4.3 – Поперечный профиль «полунасыпь-полувыемка»

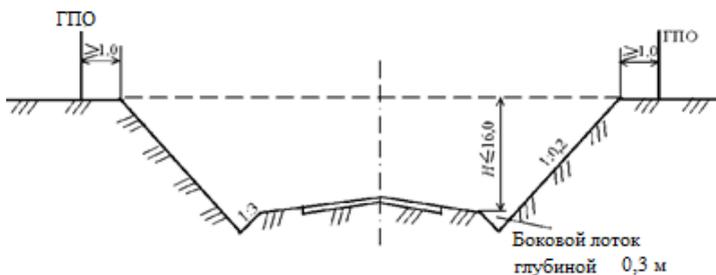


Рисунок 4.4 – Поперечный профиль выемки в прочных горных породах

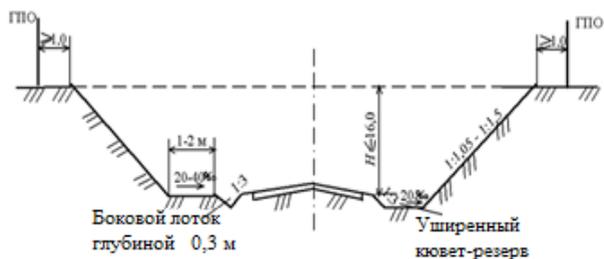


Рисунок 4.5 – Поперечный профиль выемки в слабых легковетриваемых горных породах

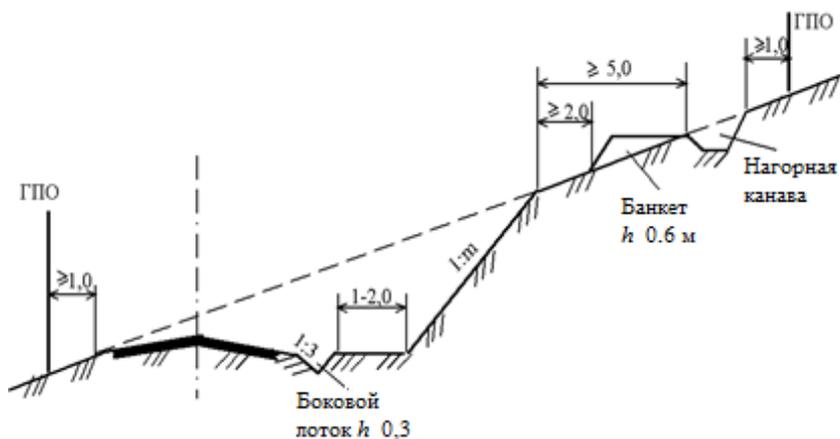


Рисунок 4.6 – Поперечный профиль земляного полотна типа «полка»

Поперечный профиль типа «полка» обеспечивает полную устойчивость земляного полотна на горных склонах.

На крутых склонах при устройстве насыпи на косогоре при $1 : m = 1:5$ и круче устраиваются подпорные стенки из камня, железобетона, а при крутизне $1:3 \dots 1:2$ – банкеты из сухой кладки.

4.3 Особенности проектирования дорог по участкам осыпей и обвалов

Осыпи – это отложения мелкообломочных пород продуктов распада горных пород, сильно подверженных выветриванию (рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – Осыпь

В зависимости от интенсивности поступления материала различают *действующие, затухающие и затухшие* осыпи. Степень подвижности осыпи характеризуется *коэффициентом подвижности*

$$K = \alpha / \varphi, \quad (4.1)$$

где α – угол наклона поверхности осыпи;

φ – угол естественного откоса материалов, из которых сложена осыпь.

Степень подвижности осыпей приведена в таблице 4.1.

Т а б л и ц а 4.1 – Степень подвижности осыпей

Степень подвижности	Подвижная «живая»	Слабо подвижная	Относительно неподвижная
Коэффициент подвижности	0,7–1,0	0,5–0,7	< 0,5

Осыпи с $K < 0,5$ могут быть использованы для размещения в их нижней части земляного полотна в невысоких насыпях без дополнительных сооружений.

Подвижные осыпи при трассировании следует обходить, а если это невозможно, то необходимо предусматривать мероприятия для обеспечения устойчивости земляного полотна.

Осыпи, которые сложены из крупнообломочного, хорошо фильтрующегося материала, можно пересекать.

При действующей осыпи перед дорогой возводят улавливающие сооружения для задержания и накапливания обломков. К ним относятся:

- путевые улавливающие траншеи (рисунок 4.8);
- путевые улавливающие полки с барьерной стенкой (рисунок 4.9);
- улавливающий ров с валом в пределах косогора (рисунок 4.10);
- защитные стенки (рисунок 4.11).

При активных осыпях, шлейф которых достигает берега водотока, целесообразно перенести трассу на другой склон долины, что делает необходимой постройку двух мостов.

Материалы осыпей можно использовать для отсыпки насыпей, а если они удовлетворяют требованиям прочности, то и для устройства дорожной одежды.

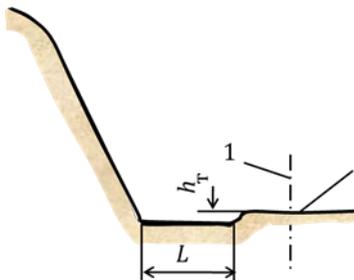


Рисунок 4.8 – Путевые улавливающие траншеи:
 L – ширина и h_r – высота траншеи, назначаемые по расчету; 1 – ось пути; 2 – проектируемое земляное полотно

Рисунок 4.9 – Путьевые улавливающие полки с барьерной стенкой:

L – ширина полки, назначаемая по расчету; h_c – высота барьерной стенки, назначаемая по расчету; 1 – стенка; 2 – лоток; 3 – ось пути; 4 – проектируемое земляное полотно

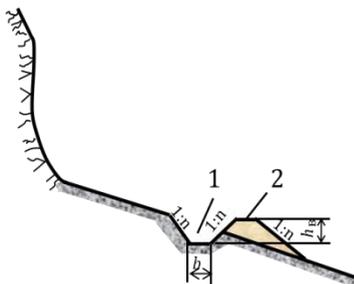
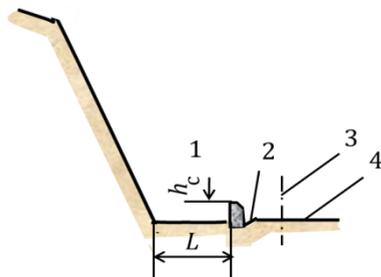
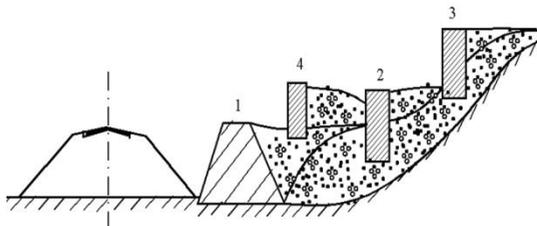


Рисунок 4.10 – Улавливающий ров с валом в пределах косогора

1 – ров; 2 – вал; h_n – глубина рва с валом

Рисунок 4.11 – Защитные стенки
1, 2, 3, 4 – последовательность установки стенок



Стенки устраивают из сухой кладки высотой 1,5–2 м, шириной 0,8–1,0 м при глубине заложения > 0,5 м.

Обвалы – внезапные обрушения с крутых склонов гор обломков горной породы. Причиной обвалов является чрезмерная крутизна склонов (рисунок 4.12). Возникновение обвалов может происходить в следующих случаях:

- разрушение горных пород процессами выветривания;
- подрезка наклонных пластов при устройстве земляного полотна;
- трещиноватость горных пород;
- расширение воды при замерзании в горных породах.

При изысканиях участки обвалов целесообразно обходить. При невозможности этого предусматриваются следующие мероприятия:

- установка на склонах возле дороги металлических решетчатых щитов;
- завешивание откосов сеткой из толстой проволоки (рисунок 4.13);

- устройство улавливающих рвов с валом (рисунок 4.14) или улавливающих стенок (рисунок 4.15);
- на дорогах с интенсивным движением – строительство защитных галерей.



Рисунок 4.12 – Обвал



Рисунок 4.13 – Завешивание откосов сеткой из толстой проволоки

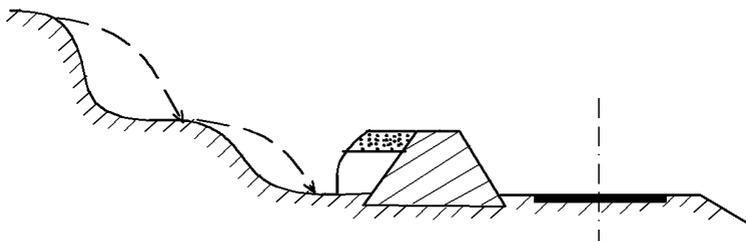


Рисунок 4.14 – Улавливающая стенка у бортики дороги

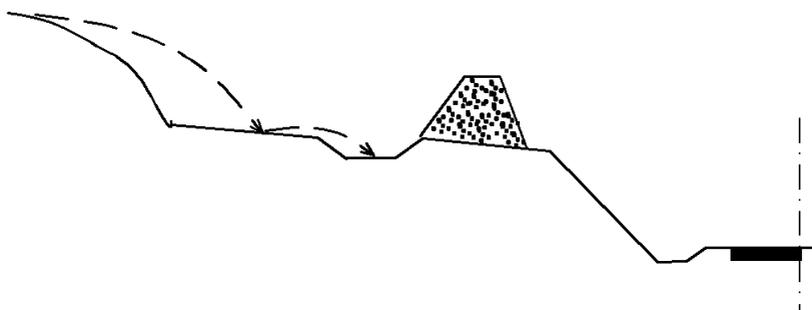


Рисунок 4.15 – Улавливающий ров с валом в пределах пологого участка косогора

4.4 Особенности проектирования дорог в районах оползней

Главной причиной оползней является несоответствие крутизны склона его прочностным свойствам. Оползневый процесс активизируется в результате воздействия грунтовых или поверхностных вод, уменьшающих сопротивление грунтов сдвигу и увеличивающих вес подверженной оползанию массы. Оползшую массу называют оползевым телом, а поверхность, по которой происходит смещение оползня, – поверхностью скольжения, или поверхностью смещения (рисунок 4.16).

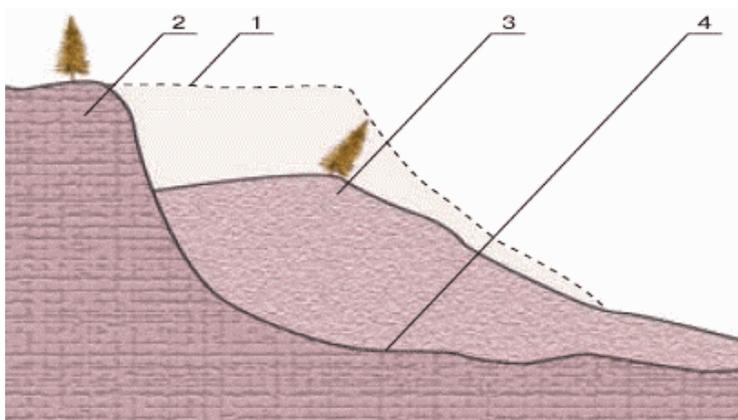


Рисунок 4.16 – Схема оползня:

1 – первоначальное положение склона; 2 – ненарушенный склон; 3 – оползень;
4 – поверхность скольжения

Постройка дороги может способствовать активизации оползней в результате подрезки склонов при устройстве выемок, дополнительной нагрузки склонов от веса насыпей и т. д.

Признаками оползневых склонов является характерный рельеф, на котором видны следы прошлых оползней – валы взбугривования у подошвы склона, наклонные саблевидные деревья («пьяный лес»).

В большинстве случаев наиболее целесообразен обход оползневых участков с верховой стороны. При неизбежности пересечения оползня насыпь следует располагать в нижней части оползневого склона.

Для устранения причин, вызывающих оползание грунта, необходимо предусматривать следующие мероприятия:

- планировка поверхности с целью отвода поверхностных вод;
- перехват дренажами поступающих с вышерасположенных частей склона грунтовых вод;
- осушение тела оползня дренажами при наличии в нём водоносных прослоек;
- устройство перепадов и быстротоков на крутых участках канав.

Для повышения устойчивости небольших оползневых массивов предусматриваются мероприятия, уменьшающие массу сползающего грунта и связи оползающей части склона с ее ложем:

- разгрузка оползневого склона путем срезки грунта в пределах активной части оползня с перемещением его в нижнюю часть;
- укрепление береговых склонов против подмыва водотоками;
- возведение удерживающих сооружений: подпорных стен, контрбанкетов и т. п.;
- повышение сцепления оползневой массы с ложем оползня инъектированием вяжущих материалов или электрохимическим способом.

4.5 Проектирование дорог в зоне образования лавин

Лавины – это снежные массы (объем от 10 000 до 100 000 м³), которые потеряли сцепление с подстилающей поверхностью и с очень большой скоростью обрушиваются вниз по склону, разрушая всё на своем пути.

Различают лавины *сухие* и *мокрые*. Сухие образуются в периоды морозов, мокрые – весной или во время сильных оттепелей.

По характеру движения снежной массы различают три типа лавин:

- *осовы* – масса снега на склоне равномерно смещается без строго фиксированного русла (рисунок 4.17);
- *лотковые* – снег со снегосборного бассейна скользит по логу (рисунок 4.18);
- *прыгающие* – вначале снег смещается по каналу стока, а затем, когда он образует горизонтальную площадку или уклон его увеличивается, лавины слетают с уступа и обрушиваются на дно долины (рисунок 4.19).



Рисунок 4.17 – Осова снежная лавина



Рисунок 4.18 – Лотковая снежная лавина

При изысканиях следует избегать пересечения дорогой лавиноопасных мест. При невозможности обхода дорогу располагают над дном долины на такой высоте, чтобы ее не закрывали снежные завалы.

Для борьбы с лавинами предусматривают следующие мероприятия:

- уменьшение накопления снега в лавиносборных бассейнах;
- повышение устойчивости снега на склонах;
- замедление движения масс снега;
- отклонение лавины от дороги или пропуск ее над дорогой.



Рисунок 4.19 – Прыгающая снежная лавина

Для уменьшения накопления снега и задержания его на плато устраивают каменные стены и устанавливают на зиму в несколько рядов щиты.

Для замедления движения снежных масс и отклонения лавины от дороги устраивают отбойные дамбы в виде мощных насыпей $H \geq 10 \dots 15$ м, расположенных под углом $\leq 30^\circ$ к направлению движения лавины (рисунок 4.20).

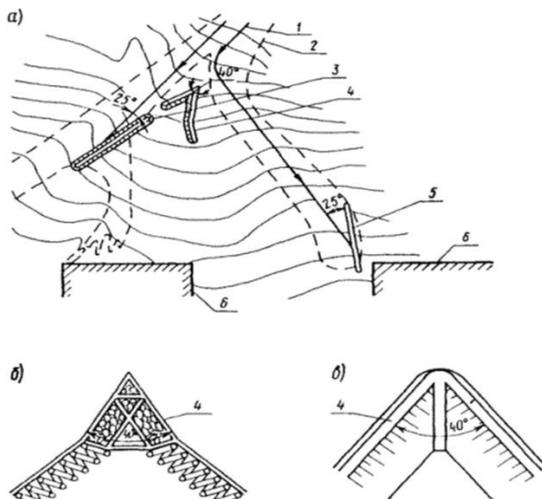


Рисунок 4.20 – Схемы устройств для отвода снежных лавин:

a – план расположения сооружений; b – план ряжевого лавинореза; $в$ – план лавинореза из камня; 1 – направления движения лавины; 2 – контуры конусов выноса; 3 – направляющая дамба; 4 – лавинорез; 5 – направляющая стена; 6 – защищаемые объекты

Наиболее надежным способом защиты дорог от лавин является сооружение галерей. Над галереей делают засыпку с таким расчетом, чтобы получилось естественное продолжение уклона склона местности. В настоящее время галереи строят преимущественно из сборного железобетона (рисунок 4.21).



Рисунок 4.21 – Лавинозащитная галерея

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 **ТКП 45-3.03-19-2006 (02250)**. Технический кодекс установившейся практики. Автомобильные дороги. Нормы проектирования / М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Минск, 2006. – 42 с.

2 **ТКП 45-3.03-112-2008 (02250)**. Технический кодекс установившейся практики. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды / М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Минск, 2009. – 99 с.

3 **ТКП 200-2009 (02191)**. Технический кодекс установившейся практики. Автомобильные дороги. Земляное полотно / М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Минск, 2011. – 179 с.

4 **Бабков, В. Ф.** Проектирование автомобильных дорог : в 2 ч. / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – М. : Транспорт, 1987. – Ч. 1. – 368 с.; Ч. 2. – 415 с.

5 **Давыдов, В. А.** Изыскания и проектирование автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах : учеб. пособие / В. А. Давыдов, Э. Д. Бондарева. – Омск : ОмПИ, 1989. – 40 с.

6 **Лавриненко, Л. Л.** Изыскания и проектирование автомобильных дорог / Л. Л. Лавриненко. – М. : Транспорт, 1991. – 296 с.

7 **Федотов, Г. А.** Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн. 2 / Г. А. Федотов, П. И. Поспелов. – М. : Высш. шк., 2009. – 646 с.

