ОДМ 218.2.094-2018

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗ МЕСТНЫХ ТАЛЫХ И МЕРЗЛЫХ ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ И ТОРФЯНЫХ ГРУНТОВ В ЗОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

МОСКВА 2018

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН: Обществом с ограниченной ответственностью «Центром стратегических автодорожных исследований» (д.т.н. В.А.Кретов, к.т.н. И.В.Лейтланд, к.в.н. Г.Ф.Меркулов, инж. А.Е.Шароватов, инж. А.А.Белозеров) при участии д.т.н. А.Н. Шуваева, к.т.н М.В. Пановой, к.т.н. А.В. Замятина (ООО «НПДУ»)

2 ВНЕСЕН Управлением строительства и эксплуатации автомобильных дорог и Управлением научно-технических исследований и информационного обеспечения Федерального дорожного агентства

3 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ на основании распоряжения Федерального дорожного агентства (Росавтодор) от 25.07.2018 № 2886-р

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Область применения 1

2 Нормативные ссылки 1

3 Термины и определения, обозначения и сокращения 2

4 Основные положения 4

5 Требования к грунтам и материалам, применяемым в зонах распространения ММГ 5

6 Особенности проектирования земляного полотна из местных талых и мерзлых глинистых и торфяных грунтов 13

7 Оценка устойчивости насыпи и прогноз конечной осадки и хода осадки насыпи 26

Приложение А Прогноз осадки консолидируемого слоя насыпи из глинистых переувлажненных грунтов и времени её завершения 38

Приложение Б Пример расчета устойчивости насыпи запроектированной по второму принципу 41

Библиография 44

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Методические рекомендации по проектированию земляного полотна автомобильных дорог общего пользования из местных талых и мерзлых переувлажненных глинистых и торфяных грунтов в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов

1 Область применения

Настоящий ОДМ устанавливает рекомендации по проектированию земляного полотна автомобильных дорог общего пользования из местных талых и мерзлых переувлажненных глинистых и торфяных грунтов в условиях 1-й дорожно – климатической зоны РФ.

2 Нормативные ссылки

В настоящем ОДМ использованы нормативные ссылки на следующие документы

ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик
ГОСТ 10296-79 Изол. Технические условия

ГОСТ 22733-2016 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности

ГОСТ 10354-82 Пленка полиэтиленовая. Технические условия
ГОСТ 33063-2014 Автомобильные дороги общего пользования. Классификация типов местности и грунтов.

ГОСТ 33149-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог в сложных условиях

СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах

СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

В настоящем ОДМ применены следующие термины и соответствующими определениями

3.1 **ВГММГ:** Верхний горизонт многолетнемерзлых грунтов;

3.2 **гидроизолирующий слой (прослойка):** Водонепроницаемый слой из гидроизолирующего материала (полиэтиленовая пленка, изол и др.);

3.3 **некондиционный грунт:** Грунт не отвечающий требованиям дорожно-строительных норм для конкретного слоя дорожной конструкции по составу и состоянию. Использование такого грунта для строительства допускается только при условии проведения специальных конструктивных и технологических мероприятий;

3.4 **граница оттаивания**: Граница раздела оттаивающего и мерзлого грунта, движущаяся сверху вниз в процессе оттаивания;
3.5 **оттаивающий грунт:** Грунт, в котором при переходе от мерзлого состояния в талое разрушаются криогенные структурные связи;

3.6 **сыпучемерзлый грунт:** Крупнообломочный и песчаный грунт, имеющий отрицательную температуру, но не сцементированный льдом и не обладающий силами сцепления;

3.7 **сухомерзлый грунт:** Песчаные грунты с суммарной влажностью до 6 %, гравийно-песчаные грунты с влажностью заполнителя до 6 %;
Примечание
1. Прочность на сдвиг при температуре минус 0,8° С до 0,5 МПа не превышает усилий резания серийными землеройными транспортными машинами.
2. Прочность их на раздавливание не более 1 МПа.

3.8 **талый грунт:** Грунт, образующийся в результате естественного оттаивания мерзлых грунтов в карьерах, буртах или теле насыпи;

3.9 **твердомерзлый грунт:** Дисперсный грунт, прочно сцементированный льдом, характеризуемый относительно хрупким разрушением при ударе, практически несжимаемый под внешней нагрузкой;

3.10 **торфяной грунт (торф):** Органический грунт, содержащий в своем составе 50 % (по массе) и более органического вещества, представленного растительными остатками и гумусом;

3.11 **мёрзлый грунт:** Грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий в своём составе видимые ледяные

включения и (или) лёд-цемент и характеризующийся криогенными структурными связями;

3.12 **многолетнемёрзлый грунт:** Грунт, находящийся в мёрзлом состоянии постоянно в течение трёх и более лет;

3.13 **пластично-мерзлый грунт:** Дисперсный грунт, сцементированный льдом, но обладающий вязкими свойствами и сжимаемостью под внешней нагрузкой;

3.14 **ДКЗ:** Дорожно-климатическая зона;

3.15 **коэффициент фильтрационной и вторичной консолидации**: Показатели, характеризующие скорость деформации грунта при постоянном напряжении за счет фильтрации воды и ползучести грунта;

3.16 **нестабильные слои насыпи:** Слои из мерзлых или талых переувлажненных грунтов, которые в насыпи имеют степень уплотнения, не отвечающую нормативным требованиям, вследствие чего при оттаивании или длительном действии нагрузок могут возникать остаточные деформации слоя;

3.17 **осадка мерзлого грунта при оттаивании:** Свойство мерзлого грунта уменьшаться в объеме при оттаивании за счёт структурного перехода льда в воду, и данное явление увеличивается по мере роста дренирующих свойств грунтов;

3.18 **относительная осадка при оттаивании ММГ:** Осадка, отнесенная к слою грунта единичной толщины, обусловленная таянием ледяных включений и уплотнением оттаявшего грунта при воздействии сжимающей нагрузки, выражается как отношение величины осадки образца мерзлого грунта к высоте образца грунта при оттаивании, например, в компрессионных условиях, при действии на него сжимающей нагрузки;

3.19 **ползучесть грунта:** Процесс развития деформаций грунта (сдвиговых, объемных) во времени при действии постоянного напряжения;

3.20 **сливающаяся мерзлота:** Верхняя граница многолетнемерзлых грунтов сливается с подошвой деятельного слоя;

3.21 **термоизолирующие слои:** Слои, обладающие термоизоляционными свойствами (искусственные, натуральные: мох,

торф и др.).

4 Основные положения

4.1 Документ содержит указания по конструированию и расчёту земляного полотна автомобильных дорог общего пользования из местных талых и мерзлых, переувлажненных глинистых и торфяных грунтов.

4.2 При проектировании плана и профиля автомобильных дорог необходимо учитывать тип местности по условиям увлажнения и мерзлотно-грунтовым условиям согласно СП 34.13330, ГОСТ 33063 и ВСН 84-89 [1], влияющим на устойчивость земляного полотна при строительстве автомобильных дорог в первой ДКЗ (рисунок 1).

4.3 Типовые конструкции земляного полотна для условий первой ДКЗ, как правило, предполагают использование крайне дефицитных для этой зоны песчаных и крупнообломочных грунтов. Использование в земляном полотне глинистых грунтов имеет очень ограниченное применение, в первую очередь из-за того, что они находятся в состоянии повышенной влажности, что значительно снижает их несущую способность.

Применение переувлажненных глинистых грунтов для устройства земляного полотна автомобильных дорог в зонах распространения ММГ, при определенном обосновании, может осуществляться как в зимний период из мерзлых, так и в летний период из талых грунтов.

4.4 Возможность использования при устройстве земляного полотна автомобильных дорог в зоне распространения ММГ переувлажненных глинистых (мерзлых и талых) грунтов может быть осуществлена за счет реализации комплекса мероприятий, предопределенных физико-механическими характеристиками таких грунтов, природно-климатическими условиями территорий, на которых они применяются, специальными организационно-техническими мерами, обеспечивающими саму возможность проектирования и строительства дорог в таких условиях.

4.5 Основной областью применения торфяных грунтов является использование их в качестве теплоизоляционных слоев в теле, на откосах и подошве насыпи.

4.6 При разработке проектных решений для вариантов конструкций земляного полотна из местных глинистых и торфяных грунтов необходимо использовать комплексный подход, включающий оценку: условий строительства, способов получения грунта в карьерах и резервах, возможности ведения строительства в различные времена года, принципов

использования твердомерзлых, пластично-мерзлых грунтов и торфов в земляном полотне и многолетнемерзлых грунтов в основании насыпей.

5 Требования к грунтам и материалам, применяемым в зонах распространения ММГ

5.1 Степень пригодности глинистых грунтов для сооружения земляного полотна устанавливают испытанием грунтовых проб и образцов, отобранных в карьерах и резервах, с определением гранулометрического состава, влажности, плотности и числа пластичности грунта (ГОСТ 5180), оптимальной влажности и максимальной плотности сухого грунта (ГОСТ 22733). Коэффициент уплотнения грунта должен отвечать требованиям таблицы 1.

5.2 На всех типах местности допускается применять талые глинистые грунты, удовлетворяющие требованиям по гранулометрическому составу таблицы 2 [1,2]. При содержании пылеватых и глинистых частиц, в большем количестве по массе, чем указано в таблице 2, переувлажненные глинистые грунты допускается применять для отсыпки нижней части насыпи, при условии их сохранения в мерзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации.

5.3 Твердомерзлые и пластично-мерзлые глинистые грунты при оттаивании, как правило, имеют влажность выше допустимой.

5.4 С учетом комплекса физико-механических свойств, определяющих выбор конструкции и технологии сооружения земляного полотна, глинистые грунты повышенной влажности разделяют на четыре категории по степени переувлажнения согласно таблице 3.

5.5 Грунты допустимой степени переувлажнения в зонах распространения ММГ применяют в насыпях автомобильных дорог без специальных ограничений, но с учетом конструктивных и технологических особенностей, вытекающих главным образом из недостаточной прочности грунтов и уменьшения производительности машин.

5.6 Грунты средней степени переувлажнения допускается применять в нижних слоях насыпей автомобильных дорог при условии получения в процессе укатки максимально возможного коэффициента уплотнения с учетом возможности последующего доуплотнения в процессе консолидации до требуемой плотности.



Рисунок 1 – Карта дорожно-климатического районирования

Таблица 1 - Наименьшие значения коэффициента уплотнения грунта

Часть насыпи	Глубина расположения от низа дорожной одежды, *м*	Районы первой дорожно-климатической зоны								
		I_1 – северная подзона			I_2 – центральная подзона			I_3 – южная подзона		
		Тип дорожной одежды								
		Капитальный	Облегченный	Переходный и низший	Капитальный	Облегченный	Переходный и низший	Капитальный	Облегченный	Переходный и низший
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Верхняя	0,0-0,4 0,1-1,0 1,0-1,5	0,97-0,96 0,96-0,94 0,95-0,93	0,96 0,93 0,91	0,94 0,93 0,90	0,98-0,97 0,97-0,96 0,96-0,95	0,97 0,95 0,94	0,95 0,94 0,92	0,98-1,00 0,98-0,97 0,97-0,96	0,98 0,96 0,95	0,96 0,95 0,93
Нижняя неподтапливаемая	1,5-6,0	0,93-0,90	0,90	0,90	0,94-0,92	0,91	0,91	0,95-0,93	0,92	0,92
Нижняя подтапливаемая	1,5-6,0	0,96-0,93	0,93	0,92	0,97-0,94	0,94	0,93	0,98-0,95	0,95	0,95

Примечания

1 Большие значения $К_у$ принимают для цементобетонных покрытий.
2 Таблица разработана В.А. Давыдовым [4].

Таблица 2 – Требования к глинистым грунтам земляного полотна по гранулометрическому составу

Часть насыпи	Глубина расположения слоя от низа дорожной одежды, м	Покрытия капитальные			Покрытия усовершенствованные облегченные			Покрытия переходного и низшего типа		
		Тип местности по характеру поверхностного слоя, степени увлажнения и мерзлотно-грунтовым условиям (СП 34.13000, ГОСТ 33063)								
		1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Верхняя	До 1,5	Супеси легкие, суглинки легкие содержанием пылеватых частиц не более 35 % глинистых не более 15 %		Супеси легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35 % и глинистых не более 5 %	Супеси легкие и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 50 % и глинистых не более 20 %		Супеси и суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35 % и глинистых не более 15 %	Супеси и суглинки; суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 55 % и глинистых не более 25 %		Супеси легкие и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 40 % и глинистых не более 20 %
Нижняя неподтапливаемая	1,5 - 6	Супеси легкие, суглинки легкие, суглинки тяжелые и глины с содержанием пылеватых частиц не более 50 % и глинистых не более 20 %		Супеси легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35 % и глинистых не более 5 %	Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц 55 % и глинистых не более 25 %		Супеси и суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35% и глинистых не более 15%	Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не, более 60 % и глинистых не более 20 %		Супеси легкие и суглинки легкие, суглинки, глины с содержанием пылеватых частиц не более 40 % и глинистых не более 20%
Нижняя подтапливаемая	1,5-6	-	Супеси легкие, суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35 % и глинистых не более 15 %		-	Супеси легкие и суглинки легкие, суглинки и глины, с содержанием пылеватых частиц не более 50 % и глинистых не более 20 %	Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 35 % и глинистых не более 15 %	-	Супеси и суглинки легкие суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 55 % и. глинистых не более 25 %	Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 40 % и глинистых не более 20 %

Примечания

1. Коэффициент морозного пучения глинистых грунтов, отсыпаемых в верхнюю часть насыпи, не должен превышать 3 %, а в нижнюю часть – 5 %.
2. Степень засоленности глинистых грунтов, отсыпаемых в верхнюю часть насыпи, не должна превышать 0,25 г/см^3 порового раствора, а в нижнюю часть - 0,5 г/см^3.

Таблица 3 – Категории переувлажненного глинистого грунта по технологическим критериям

Степень переувлажнения	Технологические характеристики грунта		
	Уплотняемость в насыпи	Проходимость машин по ненарушенному слою грунта	Липкость при переработке
Допустимая	Уплотняется по обычной технологии до требуемой плотности	Удовлетворительная	Повышенная
Средняя	Уплотняется механическими способами до коэффициента уплотнения $K_{упл} = 0,9$	Затрудненная	Сильная
Высокая	Уплотняются только в процессе консолидации или искусственного осушения	Обеспечивается для машин высокой проходимости	Очень сильная
Избыточная	То же	Отсутствует	Сильная

5.7 Грунты высокой и избыточной степени переувлажнения допускается укладывать в насыпь автомобильных дорог, устраиваемых в зонах ММГ, при условии их естественного просушивания или при осушении активными добавками до влажности, отвечающей допустимой или средней степени переувлажнения. Возможность проведения естественного просушивания в зонах распространения ММГ крайне ограничена, в связи с чем, возможность применения таких грунтов в талом состоянии также крайне ограничена.

5.8 Категории грунтов по степени переувлажнения разграничивают по величине коэффициента увлажнения. Коэффициент увлажнения $K_{увл}$ определяется как отношение фактической влажности грунта к оптимальной, определенной по ГОСТ 22733. Разновидности грунтов по степени переувлажнения приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Разновидности грунтов по степени переувлажнения [3]

Степень переувлажнения грунтов	Величина $K_{увл}$ на границе категории грунтов		
	пески, супеси легкие и пылеватые	супеси пылеватые и тяжелые, суглинки легкие	суглинки тяжелые, глины
Допустимая	От 1,0 до 1,25	От 1,0 до 1,15	От 1,0 до 1,10
Средняя	От 1,25 до 1,40	От 1,15 до 1,45	От 1,10 до 1,50
Высокая	От 1,40 до 1,55	От 1,45 до 1,80	От 1,50 до 2,05
Избыточная	Свыше 1,55	Свыше 1,80	Свыше 2,05

Примечания

1. Значения допустимой степени переувлажнения даны для коэффициента уплотнения $К_{упл}$ = 0,98 ÷ 1,0; для $К_{упл}$ = 0,95 они могут быть повышены на 10% (кроме суглинков тяжелых и глин);

2. Значения средней влажности даны для коэффициента уплотнения $К_{упл}$ = 0,90;

5.9 Максимально возможную плотность сухого грунта получают методом стандартного уплотнения по ГОСТ 22733.

Допускается определять максимально возможную плотность сухого грунта ρ_d (г/см^3) по формуле (1)

$$\rho_d = \frac{\rho_s(1-V_{возд})}{1+\frac{\rho_s \cdot W}{\rho_в}}, \quad (1)$$

где ρ_s - плотность минеральной части грунта, г/см^3;

$V_{возд}$ - содержание воздуха в грунте при максимальной плотности, доли единицы;

Примечание – При влажности грунта выше оптимальной максимально возможную плотность грунта можно считать достигнутой при содержании воздуха в порах песков и супесей - 6%, суглинков - 3%, глин - 4%.

$\rho_в$ - плотность воды в грунте, г/см^3, $\rho_в \approx 1$ г/см^3;

W - влажность грунта, доли единицы.

Для ориентировочных расчетов значения ρ_s и $V_в$ можно принимать соответственно: для песков, легких и легких пылеватых супесей - 2,67 г/см^3 и 0,05-0,08 доли единицы; тяжелых супесей и легких суглинков - 2,7 г/см^3 и 0,03-0,04 доли единицы; тяжелых суглинков и глин - 2,72 г/см^3 и 0,04-0,05 доли единицы.

5.10 Требование к степени переувлажнения глинистого грунта в зависимости от требуемого коэффициента уплотнения приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Допустимая влажность грунтов при уплотнении

Грунт	Допустимая влажность грунтов в долях от оптимальной, при коэффициенте уплотнения			
	1,00 - 0,98	0,95	0,92	0,90
Супеси легкие	1,20	1,30	1,35	1,40
Суглинки легкие пылеватые и супеси пылеватые	1,15	1,25	1,30	1,35
Глины, суглинки тяжелые песчанистые и суглинки тяжелые пылеватые	1,10	1,20	1,25	1,30
Глины пылеватые	1,05	1,15	1,15	1,2

При влажности талых глинистых грунтов превышающей допустимую влажность при требуемом коэффициенте уплотнения, должны быть предусмотрены специальные конструктивно-технологические мероприятия (предварительное осушение, улучшение несвязным или малосвязным

грунтом нормальной (допустимой и ниже) влажности, применение геосинтетических и теплоизолирующих слоев, запас на осадку и т.д.).

5.11 Требования к составу и состоянию мерзлых грунтов, при условии их дальнейшего использования в теле насыпи в талом состоянии, приведены в таблице 6 [5]. При этом коэффициент уплотнения, приобретаемый после оттаивания и доуплотнения, достигается под воздействием вышележащих слоев и транспортных средств в процессе осадки оттаивающих мерзлых грунтов насыпи. Классификация связных мерзлых грунтов в зависимости от влажности приведена в таблице 7.

Таблица 6 – Требования к составу и состоянию мерзлых глинистых и торфяных грунтов при использовании их в теле насыпи в талом состоянии

Разновидность мерзлого грунта в естественном залегании	Суммарная влажность мерзлого грунта в естественном залегании при оттаивании, %	Допустимая влажность рыхлого грунта при его укладке в насыпь, %	Содержание при разработке мерзлых комьев крупнее 25 см, %	Достигаемый коэффициент уплотнения	
				в мерзлом состоянии	после оттаивания и доуплотнения
Твердомерзлый	7-22	12-25	от 50 до 80	0,87[1]	0,95
				0,80-0,85[2]	
Пластично-мерзлый	> 22	25-30	более 80	Не нормируется[3]	

Примечания 1. Твердомерзлый грунт, с содержанием мерзлых комьев размером крупнее 30 см не более 50%, применяется в нижних слоях насыпи в смеси с сыпучемерзлым грунтом с послойным уплотнением решетчатыми и вибрационными катками, при этом предусматриваются геотекстильные прослойки на разделе «талый - мерзлый» грунт. 2. Твердомерзлый глинистый и торфяной грунты применяется при совместном использовании с геотекстильными обоймами и полуобоймами. 3. Применение пластично-мерзлых грунтов в насыпи допускается после заготовки в бурты с последующими оттаиванием, подсушиванием и дальнейшем использовании в нижней части.

Таблица 7 – Виды мерзлых связных грунтов

Грунты	Влажность связного грунта, %			
	3-7	7-20	20-40	40-60
Супесь	сухомерзлый	мерзлый	твердомерзлый	пластично-мерзлый
Суглинок	-	мерзлый	твердомерзлый	пластично-мерзлый

5.12 Пластично-мерзлые глинистые грунты допускается использовать в нижней части высоких насыпей при условии сохранения их в промороженном состоянии в течение всего периода эксплуатации дороги.

5.13 Степень переувлажнения твердомерзлых и пластично-мерзлых грунтов, при использовании их в теле насыпи в мерзлом состоянии, не регламентируется. Мерзлые комья, должны иметь размеры не более 2/3 толщины уплотненного слоя из мерзло-комковатого грунта. При этом максимальный размер комьев не должен превышать 30 см [6].

5.14 Торф, используемый для устройства теплоизолирующего слоя в теле насыпи, должен относиться к типу 1-А, иметь степень разложения не более 40% и влажность не более 600%. Плотность торфа в уплотненном состоянии должна быть не менее 0,15 г/см^3, при плотности сухого торфа при разработке торфяной залежи до 0,1 г/см^3 и 0,18 г/см^3 при плотности в залежи более 0,1 г/см^3 [6,7].

Торф, используемый для устройства теплоизолирующего слоя на откосах насыпи, применяют в составе торфо-песчаной смеси. Содержание торфа в смеси составляет от 70 до 80%.

5.15 Связные грунты, с влажностью выше допустимой после их укладки в дорожные насыпи способны при определенных условиях (отжатии влаги и физической воды) дополнительно уплотняться и со временем консолидироваться.

Величина предельной пороговой нагрузки P_0 на грунт, с которой начинается процесс их консолидации, обусловлена структурной прочностью грунта, проявляющейся в условиях компрессионного сжатия. Значения P_0 при различных коэффициентах увлажнения приведены в таблице 8

Таблица 8 – Величина предельной пороговой нагрузки P_0 на грунт при различных коэффициентах увлажнения [3]

Вид грунта (число пластичности I_p)	Значение P_0 МПа при $K_{увл}$				
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Суглинок легкий ($7< I_p \leq 12$)	0,06	0,05	0,045	0,04	0,03
Тяжелый суглиноки, глина ($I_p > 12$)	0,11	0,1	0,087	0,075	0,05

Процесс дополнительного уплотнения связных грунтов повышенной влажности (выше допустимой) под статической нагрузкой, превышающей предельную пороговую P_0, растянут во времени и обусловлен совместным проявлением процессов фильтрационного сжатия поровой жидкости и ползучести скелета грунта. Консолидационные характеристики глинистых

грунтов повышенной влажности определяют по методике ГОСТ Р 54477 на образцах заданной плотности и влажности.

5.6 Гидроизоляционный материал, применяемый в качестве обоймы и мембраны, должен обладать достаточной пластичностью при низких температурах и отвечать требованиям ГОСТ 10354, ГОСТ 10296.

6 Особенности проектирования земляного полотна из местных талых и мерзлых, переувлажненных глинистых и торфяных грунтов

6.1 При проектировании земляного полотна в зонах распространения ММГ необходимо руководствоваться следующими основными принципами проектирования:

- первого – предусматривающего обеспечение поднятия ВГММГ не ниже подошвы насыпи и сохранение его на этом уровне в течение всего периода эксплуатации дороги;
- второго – предусматривающего допущение оттаивания грунта деятельного слоя в основании насыпи в период эксплуатации дороги при условии ограничения осадок допустимых определенными пределам, устанавливаемыми нормативными документами, для конкретных типов покрытия;
- третьего – предусматривающего предварительное оттаивание многолетнемерзлых грунтов и осушения дорожной полосы и дальнейшего возведения на ней земляного полотна.

6.2 Первый принцип проектирования земляного полотна используется, в основном, при проектировании в первой и второй подзонах (1_1 и 1_2) первой ДКЗ на участках, относящихся к 3-му типу местности при среднегодовой температуре многолетнемерзлых грунтов IV-V категорий просадочности не выше минус 1,5°С.

При проектировании по первому принципу положение ВГММГ обеспечивается либо назначением соответствующей высоты насыпи, не допускающей оттаивание основания и мерзлого ядра насыпи (при его наличии), либо применением комплексного метода предотвращения оттаивания - частично за счет той же насыпи, а частично за счет применения специальных прослоек из теплоизолирующих материалов (торфа, пенополистирола, шлака и т.п.), располагаемых в основании или теле насыпи.

6.3 При проектировании по второму принципу, земляное полотно допускается проектировать на территории всей первой дорожно-климатических зоны, в т.ч. на участках, относящихся ко 2-му и 3-му типам

местности, при условии среднегодовой температуры многолетнемерзлых грунтов II-III категорий просадочности ниже минус 1,5°С.

При проектировании по второму принципу высоту насыпи устанавливают по результатам теплофизических расчетов и расчётов суммарной осадки основания и нестабильных слоев насыпи.

6.4 При проектировании насыпей дорог проходящих в зоне ММГ из некондиционных глинистых грунтов повышенной влажности по третьему принципу, рекомендуется:

- при проектировании положения автомобильной дороги в плане (по возможности) обходить территории с наличием очаговых многолетнемерзлых грунтов;
- для определения эффективных решений (определяемых в результате технико-экономического сравнения различных конструкций земляного полотна из переувлажненных глинистых грунтов) осуществлять комплексный подход к выбору наиболее целесообразного варианта, предусматривая организационно-технические решения: увеличение глубины оттаивания ММГ; просушку грунта; просушку грунта в сочетании с его частичной заменой; улучшение качества переувлажненного глинистого грунта путем перемешивания с песчаным грунтом или устройством в нем прослоек из песчаного грунта и т.д.

При невозможности или нецелесообразности проектирования земляного полотна в соответствии с предлагаемыми решениями, дорожные насыпи рекомендуется рассчитать и проектировать по второму принципу.

При проектировании по третьему принципу земляное полотно допускается проектировать на участках, относящихся ко 2-му типу местности, сложенных легко осушаемыми просадочными грунтами, среднегодовая температура которых выше минус 1,5°С; на участках 3-го типа местности, сложенных торфом толщиной до 1м и или глинистым грунтом III-IV категорий просадочности, подстилаемых малопросадочными песчаными грунтами.

6.5 Выбор принципа проектирования в конкретных климатических условиях осуществляется на основе технико-экономического сравнения вариантов, исходя из мерзлотно-грунтовых условий, руководящего возвышения бровки земляного полотна и сроков производства работ.

6.6 На участках прогнозируемых наледей в районах островного распространения многолетнемерзлых грунтов (подзона 1_3) земляное полотно должно устраиваться так, чтобы глубина промерзания основания насыпи не превышала ее промерзания в естественных условиях. При сплошном распространении многолетнемерзлых грунтов (подзоны 1_1 и 1_2) проектирование земляного полотна должно осуществляться совместно с проектированием противоналедных устройств (мерзлотных грунтовых поясов, водонепроницаемых экранов и др.), активизирующими наледный процесс в удалении от полотна дороги.

6.7 Параметры водоотводных канав, нагорных мерзлотных валиков и приоткосных берм, необходимых для отвода воды от земляного полота, устанавливают на основе расчетов на недопущение возникновения водно-эрозионных процессов, в зависимости от рельефа, гидрогеологических и мерзлотно-грунтовых условий.

6.8 Земляное полотно на наледеопасных участках следует проектировать совместно с противоналедными устройствами. в т.ч.:

- с возвышением бровки над расчетной поверхностью наледи не менее, чем на 0,5 м;
- с бермами, устраиваемыми с нагорной стороны насыпей;

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

6.10 В общем случае, высоту насыпи определяют на основе расчетов на устойчивость, прочность и снегонезаносимость. На участках с необеспеченным поверхностным стоком, минимальная высота насыпи также должна обеспечивать возвышение бровки насыпи над поверхностью земли согласно требованиям СП 34.13330. Окончательно принимают наибольшую высоту насыпи, удовлетворяющую указанным требованиям.

6.11 При расчете насыпи на устойчивость максимальная прогнозируемая осадка не должна быть больше допускаемой для данного типа покрытия (таблица 9). Расчет устойчивости насыпи осуществляют в соответствии с разделом 7 настоящих рекомендаций.

Таблица 9 - Допустимая осадка насыпи с нестабильными слоями при проектировании по второму принципу на конец срока службы дороги

Тип дорожной одежды и условия ее устройства	Допустимая суммарная осадка основания и нестабильных слоев насыпи в период эксплуатации, см, при толщине нестабильных слоев, м			
	0,5	1,0	1,5	2,0
Капитальные дорожные одежды со сборными железобетонными покрытиями, устраиваемые в одну стадию без технологического перерыва	2	4	6	10
Капитальные дорожные одежды с асфальтобетонными покрытиями, устраиваемые в один год с земляным полотном	4	8	12	20
Облегченные дорожные одежды	6	12	18	30
Переходные дорожные одежды	8	16	24	40
Примечание – При применении в конструкции насыпи армирующих прослоек допустимые осадки могут быть увеличены на 20% при толщине стабильных слоев до 1,5 м и на 25% при их толщине до 2,0 м.				

6.12 Определение высоты насыпи на снегонезаносимость осуществляют из условия, чтобы высота насыпи превышала максимальную толщину снежного покрова в данной местности. Расчет на снегонезаносимость осуществляют в соответствии с СП 34.13330.

6.13 При проектировании земляного полотна из местных талых и мерзлых, переувлажненных глинистых грунтов следует разрабатывать индивидуальные решения, которые должны быть обоснованы расчетами: устойчивости, осадки нестабильных слоев земляного полотна и оттаивающих слоев основания (мохово-растительного и деятельного); времени завершения осадки для назначения сроков устройства дорожной одежды.

6.14 Соответствие конструкции насыпи принятому принципу проектирования, обеспечивающему требуемое поднятие верхнего горизонта многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна, устанавливают в следующей последовательности:

- для первого принципа проектирования: для минимальной высоты насыпи (назначенной из условия снегонезаносимости в соответствии с требованиями [1]) рассчитывают глубину протаивания дорожной конструкции и грунта основания для конкретных условий и определяют фактическое положение ВГММГ в пределах основания насыпи. Если расчетное положение ВГММГ после строительства соответствует уровню подошвы насыпи или выше, то конструкция земляного полотна удовлетворяет требуемому принципу проектирования. В случае, если расчетный ВГММГ занимает положение ниже подошвы насыпи, необходимо либо увеличить высоту насыпи до значений по теплотехническому расчету, либо при минимальной высоте насыпи использовать теплоизолирующие и геотекстильные армирующие прослойки в конструктивных слоях насыпи и ее основании.
- для второго принципа проектирования: для насыпи минимальной высоты по снегонезаносимости сравнивают величину расчетной осадки насыпи с допустимой по таблице 9. В случае несоответствия требуемому критерию, необходимо вносить изменения в конструкцию насыпи (уположение откосов, устройство берм, увеличение высоты насыпи, использование теплоизолирующих и геосинтетических армирующих прослоек и др.)

Независимо от принципа проектирования, выбор проектного решения осуществляют на основе технико-экономического обоснования с учетом наличия источников получения грунтов, их состава и состояния, а также наличия искусственных материалов для дополнительных конструктивных слоев.

6.15 При выполнении теплотехнических расчетов необходимо учитывать влияние снежных отложений (образующихся на откосах земляного полотна) на изменение теплового режима в насыпи и его основании и на их

устойчивость при неравномерном оттаивании мерзлых и многолетнемерзлых грунтов.

6.16 При применении мерзлых или талых переувлажненных грунтов в земляном полотне (независимо от принятого принципа проектирования) необходимо рассчитать конечную величину осадки и время ее завершения для конкретной конструкции насыпи и дорожной одежды. Дополнительный объем грунта на устранение осадки устанавливают расчетом, учитывая при этом сжимаемость всех оттаивающих слоев, а также их осадку в процессе сооружения земляного полотна под действием уплотняющих средств и построечного транспорта.

6.17 При проектировании насыпи с использованием глинистых грунтов повышенной влажности необходимо предусмотреть их послойное армирование геосинтетическими материалами в виде полуобойм и обойм, рассчитываемых в зависимости от характеристик грунта и геометрических параметров земляного полотна.

При этом толщина отдельных армированных слоев не должна превышать 1,0 м.

6.18 Верхняя часть насыпи должна включать дорожную одежду и слой грунта, обеспечивающий необходимую прочность и стабильность конструкций дорожной одежды. Общая толщина верхней части дорожной конструкции h0 (рисунок 2) должна составлять не менее 1,5 м.

Верхний слой должен устраиваться из непучинистых и слабопучинистых грунтов допустимой влажности с уплотнением до требуемой плотности в процессе строительства.

Толщина верхнего стабильного слоя должна дополнительно рассчитываться по критерию сдвига в подстилающем грунте согласно ОДН 218.046-01 [9].

6.19 В зависимости от степени переувлажнения оттаявшего и талого глинистого грунта в нижней части насыпи выделяют две зоны: консолидируемую (активную) - с толщиной h_K и неконсолидируемую (пассивную) - h_H (рисунок 2).



Рисунок 2 – Поперечный профиль насыпи из грунта повышенной влажности с выделением неконсолидируемой (пассивной) и консолидируемой (активной) зон

6.20 В неконсолидируемой зоне отсутствует процесс уплотнения связных грунтов во времени под действием их собственной массы. Толщина неконсолидируемой зоны h_H (м) зависит от вида грунта, степени его

переувлажнения, плотности и с учетом величины предельной пороговой нагрузки P_0 (Па) может быть определена по формуле (2)

$$h_н = \frac{P_0}{\gamma_w}, \quad (2)$$

где γ_w - средний объемный вес грунта, Н/м^3,

P_0 – величина предельной пороговой нагрузки на грунт, с которой начинается процесс их консолидации, обусловленная структурной прочностью грунта, проявляющейся в условиях компрессионного сжатия. Значения P_0 при различных коэффициентах увлажнения приведены в таблице 8.

6.21 Если высота насыпи H (м) меньше или равна суммарной мощности верхного слоя и неконсолидируемой зоны $H_0 = (h_0 + h_H)$, то такая насыпь не будет существенно уплотняться под действием массы вышележащих слоев грунта. Ориентировочно предельная высота насыпей H_0, в которых консолидация отсутствует приведена в таблице 10.

Таблица 10 - Ориентировочно предельная высота неконсолидируемых насыпей H_0 (зона консолидации отсутствует)

Вид грунта	Предельная высота неконсолидируемых насыпей H_0, м, при $K_{увл}$				
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Суглинок легкий	3,0	2,5	2,25	2,0	–
Суглинок тяжелый и глина	5,5	5,0	4,35	3,5	2,5

6.22 При наличии консолидируемой активной зоны, т.е. при $H > (h_0 + h_H)$, нижняя часть насыпи после ее сооружения будет испытывать деформации осадки, происходящей за счет уплотнения во времени грунтов повышенной влажности в зоне консолидации толщиной $h_K = H - (h_0 + h_H)$ или $h_к = H - H_0$.

6.23 Возможность использования глинистых и торфяных грунтов устанавливают на основе теплотехнического расчета и расчета осадки с учетом технико-экономического обоснования конкурентоспособных вариантов земляного полотна.

6.23 Использование грунтов повышенной влажности запрещается в насыпях на подходах к мостам и в конусах мостовых устоев.

6.24 Теплоизолирующие слои из искусственных и естественных материалов следует применять для сохранения грунтов основания в мерзлом состоянии, недопущения полного или частичного оттаивания твердомерзлых

и пластично-мерзлых грунтов в конструкции земляного полотна, для снижения высоты насыпи до значений, установленных из условия ее снегонезаносимости при первом принципе проектирования; для уменьшения осадки земляного полотна и основания до требуемых значений при втором принципе проектирования.

6.25 Толщину уплотненного теплоизолирующего торфяного слоя, укладываемого на поверхность глинистого грунта нижней части насыпи, сохраняемого в процессе эксплуатации в мерзлом состоянии, укладываемого по подошве насыпи, определяют по формуле (3)

$$h_{торф}=H_{торф}\left(1-\frac{h_{од}}{H_{до}}-\frac{h_{гр}}{H_{гр}}\right) \quad (3)$$

где $H_{торф}$, $H_{до}$, $H_{н}$ – глубина сезонного оттаивания соответственно теплоизолирующего торфяного слоя, дорожной одежды, грунта в верхней части насыпи (определяют по методике раздела 7 настоящих рекомендаций), м;

$h_{до}$ - толщина дорожной одежды, м;

$h_{гр}$ - толщина слоя грунта верхней части насыпи, м.

6.26 Ориентировочную толщину теплоизолирующего торфяного слоя $h_{торф}$ (м) укладываемого на поверхность откосов для предотвращения оттаивания промороженного глинистого грунта в нижней части насыпи, рассчитывают по формуле (4)

$$h_{торф}=H_{гр}\ \frac{\lambda_{торф}}{\lambda_{гр}} \quad (4)$$

где: $H_{гр}$ – глубина сезонного оттаивания глинистого грунта насыпи (определяют по методике раздела 7 настоящих рекомендаций), м; $\lambda_{торф}$, $\lambda_{гр}$ - коэффициенты теплопроводности соответственно мерзлых торфяного и глинистого грунтов насыпи (определяют по СП 25.13330), Вт/(м · К).

6.27 Для минимизации воздействия водно-тепловой эрозии в зоне подошвы насыпи, следует проектировать нижнюю часть насыпи из глинистых грунтов с более пологими откосами или с бермами. Независимо от выбранного решения, нижняя часть должна быть усилена конструктивными слоями из геосинтетических материалов, а отвод воды от земляного полотна следует предусматривать в основном за счет естественного поверхностного стока.

6.28 При проектировании насыпей по первому принципу устройство водоотводных канав запрещается. При проектировании по второму принципу допускается применение водоотводных канав или водонаправляющих валов на расстоянии не ближе 8 м от подошвы насыпи. Дно и откосы канав в легкоразмываемых грунтах следует укреплять геотекстильными материалами с защитными покрытиями на основе органических вяжущих.

6.29 Заложение откосов назначают в зависимости от вида грунта и степени его влажности, но не менее указанных в таблице 11.

Таблица 11 – Крутизна откосов насыпей из переувлажненных глинистых местных грунтов

Вид грунта	Крутизна откоса при коэффициенте переувлажнения				
	1,0	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

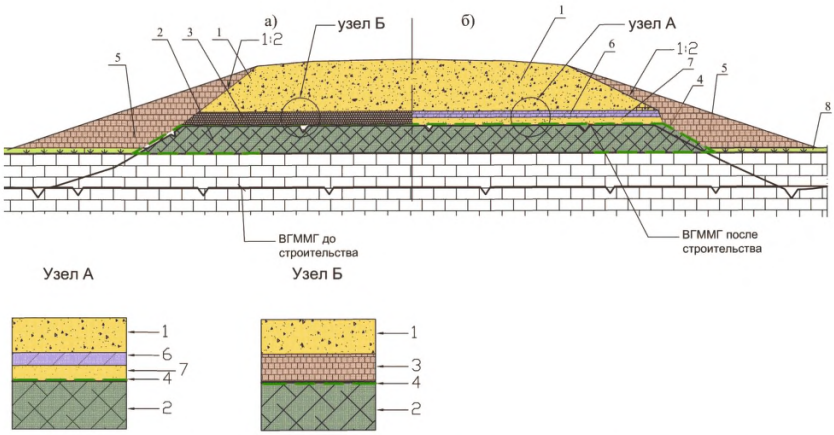
6.30 При проектировании земляного полотна с оттаявшим глинистым грунтом в нижней части насыпи, в основании насыпи следует предусматривать обязательное сохранение в ненарушенном состоянии мохорастительного (мохоторфяного) покрова. В случае сохранения грунта нижней части насыпи в мерзлом состоянии, мохорастительный покров следует удалять на всю ширину насыпи по низу.

6.31 При проектировании земляного полотна из некондиционных грунтов по первому принципу, предусматривается сохранение в мерзлом состоянии основания или основания и нижней части насыпи.

6.32 Конструкции земляного полотна по первому принципу проектирования, с использованием глинистых грунтов в нижней части насыпи (с сохранением их в мерзлом состоянии) приведены на рисунках 3 и 4.

6.33 При дефиците местных кондиционных материалов насыпь проектируется с устройством нижней части из местных переувлажненных мерзло-комковатых глинистых грунтов, а верхней части из песчаных грунтов (рисунок 3). Для уменьшения расхода песчаного грунта и обеспечения нижнего слоя в замерзшем состоянии может проектироваться устройство теплоизоляционных слоев из торфа или пенопласта. Для предотвращения оттаивания мерзло-комковатого слоя от попадающей воды в мерзлое ядро через верхние слои насыпи и откосы, проектируется устройство гидроизоляционной полуобоймы. Для предотвращения оттаивания мерзлого ядра через откосы их поверхность засыпается торфом.

Типы теплоизоляции нижней части насыпи из мерзлых грунтов могут применяться избирательно. Теплоизолирующая часть может иметь различные конструктивные решения и устраиваться из торфа (рисунок 3 а) или пенопласта (рисунок 3 б).



1 – песчаный грунт; 2 – мерзло-комковатый грунт; 3 – торф уплотненный; 4 – полуобойма из гидроизолирующего материала; 5 – теплоизолирующий слой из торфа; 6 – пенопласт; 7 – песчаный выравнивающий слой; 8 – мохорастительный покров

Рисунок 3 – Насыпь из мерзло-комковатого грунта с теплоизолирующими слоями

Нижнюю часть насыпи устраивается из глинистого переувлажненного мерзлого грунта или с добавлением сыпуче-мерзлого грунта (до 30 % по объему) в обойме или полуобойме из гидроизолирующего материала. При толщине мерзлого слоя более 1,0 м следует внутри него предусматривать мембрану, защищающую от перемещения паров воды в результате сублимации льда из комьев мерзлого грунта. Влажность мерзлого грунта не нормируется.

Требуемая толщина теплоизолирующей прослойки определяется для конкретных высот насыпей по теплотехническому расчету с последующей проверкой дорожной одежды на прочность.

При расчете вариантов конструктивных параметров и условий расположения прослоек по глубине принимаются следующие ограничения:

- высота насыпи не менее высоты снегонезаносимой насыпи;
- толщина торфяной прослойки не более 0,5 м (технологическое условие);
- толщина нижней части насыпи из мерзло-комковатого грунта не менее 0,5 м (условие технико-экономической целесообразности) и не более 2,0 м;
- толщина песчаного слоя над прослойкой не менее 0,3 м (технологическое условие применения пенопласта).

6.34 При дефиците местных кондиционных грунтов, пригодных для устройства земляного полотна и при обводненности прилегающих к дороге территорий, помимо проектных решений предусмотренных в первом случае, дополнительно предлагается предусмотреть комплекс мероприятий

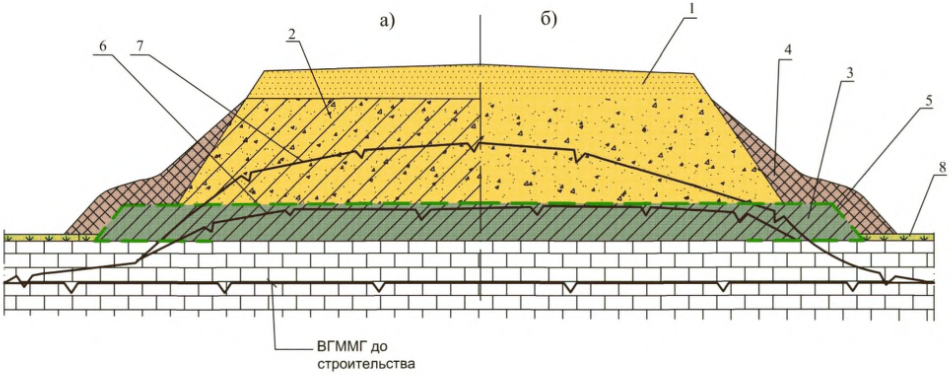
предотвращающих поступление воды со стороны насыпи и по ее подошве (рисунок 4), включающих:

- устройство берм из глинистых грунтов, заключенных в обойму из гидроизолирующих материалов;
- устройство среднего слоя насыпи из глинистых грунтов с добавлением песка, что так же позволит предотвратить доступ воды к мерзлому ядру.

Нижняя часть насыпи из местного мерзло-комковатого (разрыхленного мерзлого) грунта должна располагаться на глубине более 3,0 м от поверхности покрытия.

В средней части насыпи может быть дополнительно предусматрено устройство геотекстильных прослоеки с шагом 0,5 м с выводом полотна на откосы на 0,5 м.

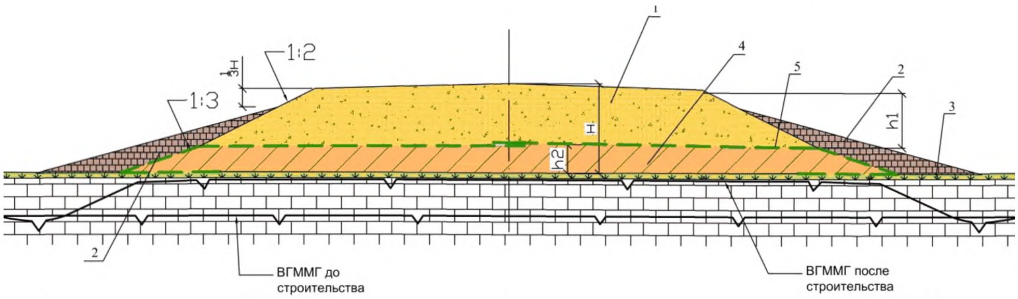
Толщина средней части насыпи определяется по теплотехническому расчету.



1 – грунт песчаный; 2 – глинистый грунт с добавлением сухомерзлого песка; 3 – мерзло-комковатый грунт; 4 – теплоизолирующий слой из торфа; 5 – полуобойма из гидроизолирующего материала; 6 – ВГММГ – первый год после строительства; 7 – ВГММГ в последующие годы; 8 – мохорастительный покров

Рисунок 4 – Насыпь с бермами из мерзло-комковатого грунта с теплоизолирующим слоем из местного грунта

6.35 При дефиците местных кондиционных грунтов пригодных для устройства земляного полотна и при наличии обводненности прилегающих к дороге территорий, насыпи проектируют с переменными откосами с более уположенными у нижней части, устраиваемыми из глинистых грунтов в полуобойме из геотекстильного материала, и с более крутыми в верхней части, устраиваемой из песчанных грунтов (рисунок 5).

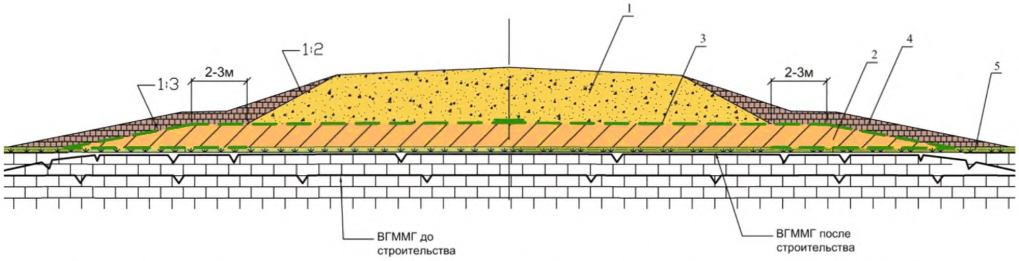


1 – грунт песчаный; 2 – теплоизолирующий слой из торфа; 3 – мохорастительный покров; 4 – глинистый грунт; 5 – полуобойма из геотекстильного материала

Рисунок 5 – Насыпь переменного профиля из переувлажненного грунта в нижней части

6.36 При наличии значительной обводненности прилегающих территорий, при которой требуется более кардинальные меры по предотвращению возможного размыва и водонасыщения проектируемой насыпи, в нижней части проектируют бермы из глинистого грунта в полуобойме из геотекстиля (рисунок 6).

Степень уплотнения глинистого грунта к моменту отсыпки верхней части насыпи должна соответствовать требованиям таблицы 1.

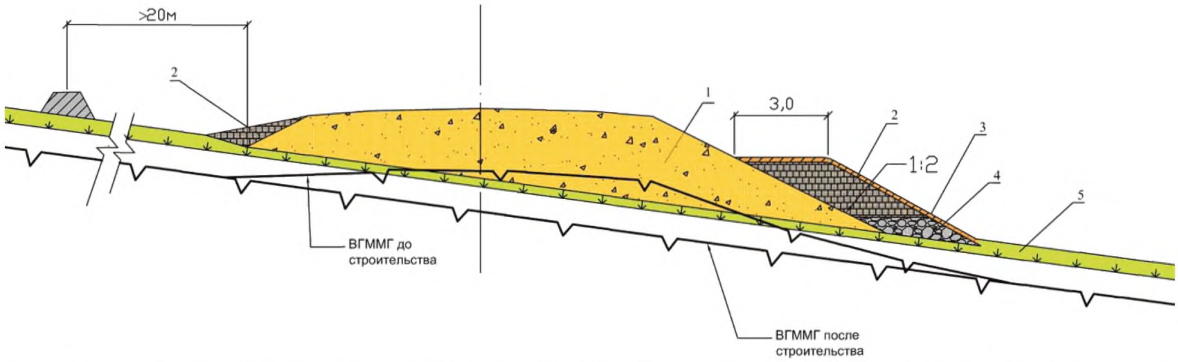


1 – грунт песчаный; 2 – глинистый грунт в полуобойме из геосинтетического материала; 3 – полуобойма из геосинтетического материала; 4 – теплоизолирующий слой из торфа; 5 – мохорастительный покров

Рисунок 6 – Насыпь с бермой из переувлажненного грунта в нижней части

6.37 При проектировании земляного полотна на косогорных участках (крутизной до 1:5), сложенных грунтами IV-V категорий просадочности, насыпи проектируются только из крупнообломочных или песчаных (в том числе мерзлых), грунтов с бермами, устраиваемыми с низовой стороны насыпи (рисунок 7). Высота берм должна составлять не менее половины высоты насыпи, рассчитываемой по первому принципу. При этом нижняя часть берм, должна устраиваться из крупнообломочных грунтов, а верхняя

из уплотненного торфа. С верховой стороны теплоизоляция насыпи обеспечивается за счет уположения откосов, устройства слоев утепления из торфа, глины, геосинтетических материалов.

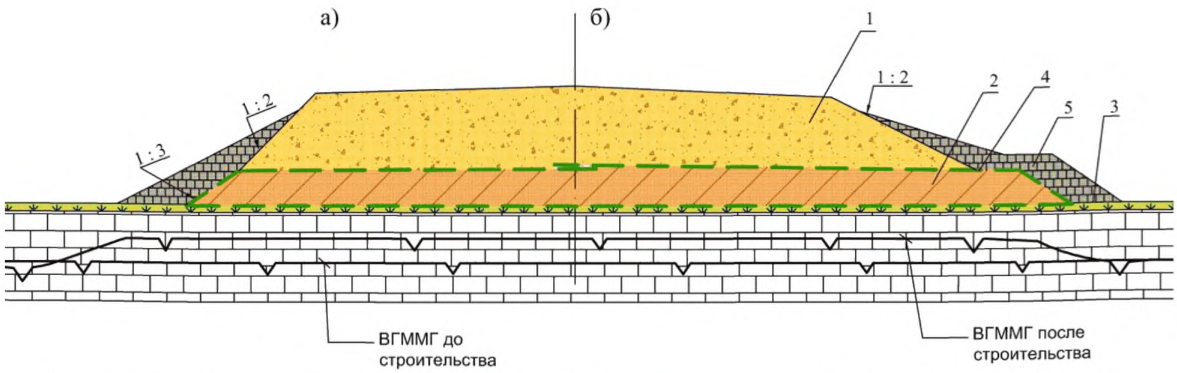


1 – крупнообломочный или песчаный грунт; 2 – берма из торфа; 3 – слой укрепления из глины, торфа, геосинтетического материала; 4 – нижняя часть бермы из крупнообломочного грунта; 5 - мохорастительный покров

Рисунок 7 – Насыпь на косогоре

6.38 При проектировании земляного полотна из некондиционных глинистых грунтов повышенной влажности **по второму принципу** нормируется величина осадки.

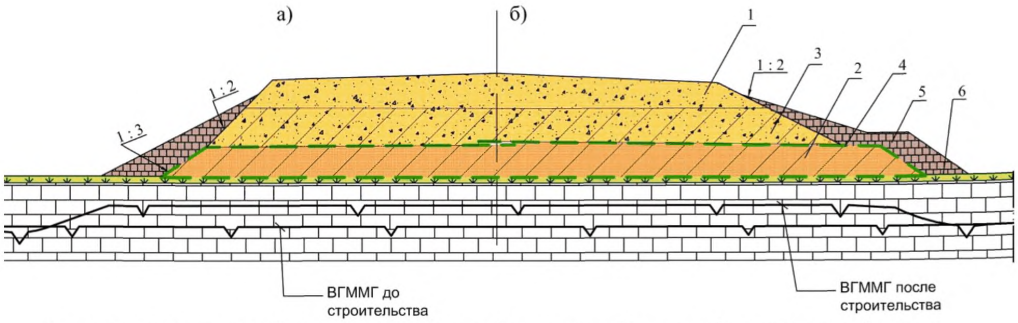
6.39 При проектировании земляного полотна из глинистых грунтов на основаниях II – III категорий просадочности, насыпь имеет переменный поперечный профиль с более пологой крутизной откосов в нижней части (рисунок 8а). На основаниях III – IV категорий просадочности нижнюю часть насыпи устраивают в виде бермы (рисунок 8б).



1 – песчаный грунт; 2 - переувлажненный глинистый грунт; 3 – мохорастительный покров; 4 – обойма из геосинтетического материала; 5 – теплоизолирующий слой из торфа

Рисунок 8 – Насыпь из переувлажненных глинистых грунтов в обойме из геосинтетического материала

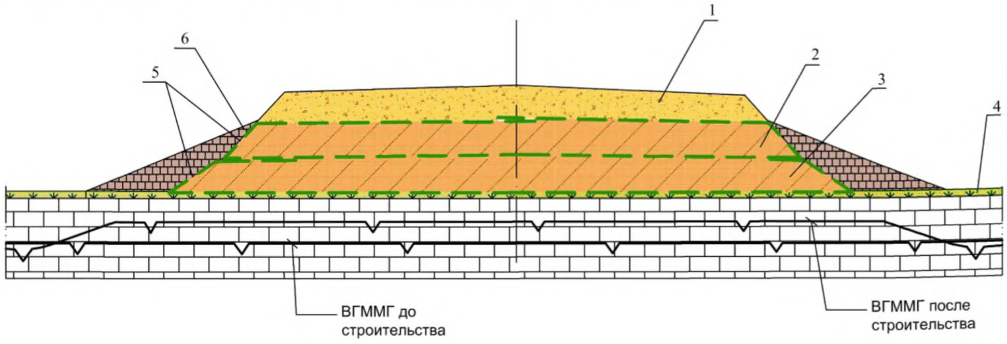
6.40 Допускается использовать в средней части насыпи мерзлые глинистые грунты в смеси с сыпучемерзлыми песчаными с послойным уплотнением и армированием геосинтетическими прослойками с шагом 0,5 м (рисунок 9).



1 – песчаный грунт; 2 - переувлажненный глинистый грунт; 3 – глинистый грунт, улучшенный песком; 4 – обойма из геосинтетического материала; 5 – теплоизолирующий слой из торфа; 6 – мохорастительный покров

Рисунок 9 – Насыпь из переувлажненных глинистых грунтов на основаниях II – III категорий просадочности

6.41 На участках, сложенных грунтами III-IV категорий просадочности, для повышения общей устойчивости насыпи из глинистых грунтов повышенной влажности и предотвращения ее расползания (включая откосы, в период оттаивания), при проектировании насыпи следует предусматривать заключение глинистых грунтов в обоймы (рисунок 10).



1 – песчаный грунт; 2 - глинистый грунт; 4 – мохорастительный покров; 5 – обойма из геосинтетического материала; 6 – теплоизолирующий слой из торфа

Рисунок 10 – Насыпь из переувлажненных глинистых грунтов на основаниях III-IV категорий просадочности

Толщину слоя глинистого грунта и общую высоту насыпи назначают с учетом параметров неконсолидируемой зоны (п. 6.21).

6.42 Во всех конструкциях следует особое внимание уделять защите нижней откосной части насыпи от оттаивания, которая обеспечивается устройством на откосах торфяных слоев утепления. Минимальная толщина торфяного слоя должна обеспечить наиболее пологое очертание границы сезонного оттаивания в основании насыпи (определяется по расчету).

7 Оценка устойчивости насыпи и прогноз конечной осадки и хода осадки насыпи

7.1 Расчет устойчивости насыпи при проектировании по первому принципу не проводится.

Устойчивость насыпи при проектировании по второму принципу обеспечивается за счет регулирования ее высоты, с целью сохранения верхнего горизонта многолетнемерзлых грунтов (ВГММГ) на требуемой глубине, а осадки насыпи на оттаявшем грунте основания не превышают допустимую величину. Допустимая суммарная осадка на конец срока службы дороги приведена в таблице 6.1.

7.2 Исходным материалом для определения прочностных, реологических и деформативных свойств, условий обводнения и заболачивания, устойчивости склонов, наледеобразования и развития термокарста, а также формирования новообразований многолетнемерзлых грунтов по трассе является ореол границы оттаивания в основании и теле земляного полотна. Для оценки характера ореола оттаивания земляного полотна необходимо рассчитать глубину оттаивания в ее характерных сечениях (ось земляного полотна, бровка, середина откоса, подошва).

7.3 Расчет границы оттаивания в основании земляного полотна

7.3.1 Расчет границы оттаивания в поперечном профиле любой многослойной конструкции, состоящей из n слоев с различными теплофизическими характеристиками материалов, выполняют аналитическим способом в следующей последовательности:

1. Рассчитывают глубину сезонного оттаивания конструкции насыпи;
2. Определяют глубину оттаивания в характерных сечениях: ось земляного полотна, бровка, середина откоса, подошва
3. Определяют расстояние от подошвы насыпи до ореола оттаивания и строят графики глубины оттаивания в поперечном профиле земляного полотна

7.3.2 Глубину сезонного оттаивания конструкции насыпи, состоящей из нескольких слоев с резко отличающимися теплофизическими характеристиками, рассчитывают по методу эквивалентных слоев по формуле (5)

$$H_к = H_{сп} + h_1\left(1 - \frac{Hсп}{Hс1}\right) + h_2\left(1 - \frac{Hсп}{Hс2}\right) + \cdots + h_n\left(1 - \frac{Hсп}{Hс(n-1)}\right) \quad (5)$$

где $H_к$ - глубина оттаивания слоистого полупространства, м;

$H_{сп}$ – глубина сезонного оттаивания деятельного слоя, м, определяемая по формуле (6)

$$H_{сп} = H_{сп}^{норм} K_w, \quad (6)$$

где $H^{норм}$ - нормативная глубина сезонного оттаивания слоев, определяемая по рисункам 11,12,13 и 14;

K_w - поправочный коэффициент на расчетную влажность материала дорожной, одежды, грунта слоев насыпи и ее основания, принимается по рисункам 11 и 12;

Примечания

1. Влажность слоев дорожной одежды и грунта насыпи при определении значения K_w в расчетах принимают: цементобетонное покрытие - 2 %; асфальтобетонное покрытие – 1%; основание дорожной одежды: из песка – 6%, из щебня – 4%, из ЩГПС – 5%; грунт земляного полотна допустимой влажности: песок мелкий и средний – 8%, пылеватый - 10%, супесь - 12%; суглинок – 15%, глина - 20%; грунт земляного полотна повышенной влажности – по данным лабораторных испытаний или по таблице 7.

2. Влажность грунта деятельного слоя до отсыпки насыпи и после стабилизации осадок под нагрузкой от насыпи устанавливают лабораторным путем или принимают по таблице 12.

Таблица 12 – Свойства грунта деятельного слоя в естественном состоянии и при сжатии под нагрузкой от насыпи [8]

Вид грунта	До отсыпки насыпи		Под нагрузкой от насыпи, H≤2,5м	
	Плотность ρ, г/см^2	Влажность W, %	Плотность ρ, г/см^2	Влажность W, %
Супесь пылеватая	1,30-1,60	40-65	1,80	25-30
Супесь пылеватая гравелистая	1,80-1,85	25-30	2,0-2,1	6-7
Супесь пылеватая (слабо заторфованная)	1,25-1,30	60-65	1,50-1,55	25-30
Суглинок пылеватый	1,55-1,60	40-45	1,80-1,85	17-20
Торф	–	500-600	–	250-300

$h_{1,2,...n}$ –толщина конструктивного слоя (покрытие, основание, слои насыпи);

H_{c1}, H_{c2}, …. $H_{сп}$ - глубина сезонного оттаивания соответствующих слоев дорожной одежды, земляного полотна и деятельного слоя, м;

H_{c1} - глубина сезонного оттаивания покрытия дорожной одежды, м, определяемая по формуле (7)

$$H_{c1} = H_{c1}^{норм} K_w K_п \quad (7)$$

где: $K_п$ - коэффициент, учитывающий интенсивность оттаивания материала дорожной одежды; принимают для песка - 1,0, песка крупного чистого - 1,05, песка с гравием - 1,13, гравия и гальки - 1,21, щебня и дресвы - 1,25, асфальтобетона - 1,30, цементобетона - 1,37.

H_{c2} – глубина сезонного оттаивания основания дорожной одежды, м, определяемая по формуле (8)

$$H_{c2} = H_{c2}^{норм} K_w \quad (8)$$

$H_{c(n-1)}$ - то же нижнего слоя грунта земляного полотна, определяемая по формуле (9)

$$H_{c(n-1)} = H_{c(n-1)}^{норм} K_w \quad (9)$$

7.3.3 Глубину оттаивания в характерных сечениях: ось земляного полотна, бровка, середина откоса, подошва, определяют по формуле (10)

$$H_{от} = \psi \beta H_к, \quad (10)$$

где $H_к$ - глубина оттаивания слоистого полупространства (формула 7.1);
ψ - коэффициент, учитывающий экспозицию откоса. Значения ψ принимают равным:
ось насыпи и бровка - ψ=1;
откос и подошва - по таблице 13.

Таблица 13 – Коэффициент ψ, учитывающий экспозицию откоса

ψ, в зависимости от экспозиции откоса			
Ю	С	З	В
1,1	0,90	0,98	0,95

β - коэффициент, учитывающий геометрию земляного полотна.
Значения β принимают равными:
ось насыпи и участки, прилегающие к насыпи - β =1;
откос и обочина - $\beta = \frac{sin\gamma}{\sin(90-\varphi)}$
где φ - угол заложения откоса, определяемый по таблице 14,

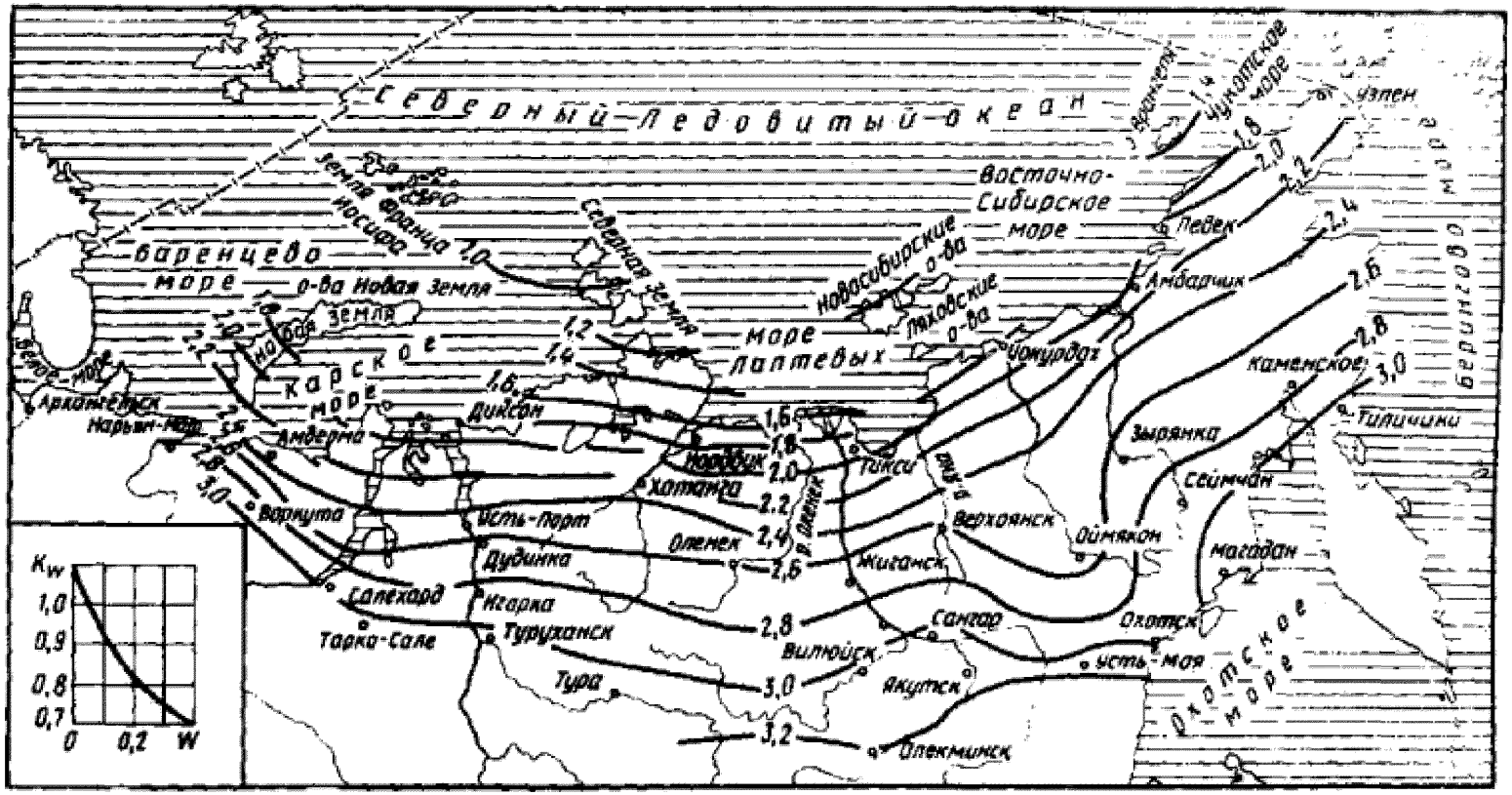


Рисунок 11 - Изолинии глубин сезонного оттаивания песчаных грунтов

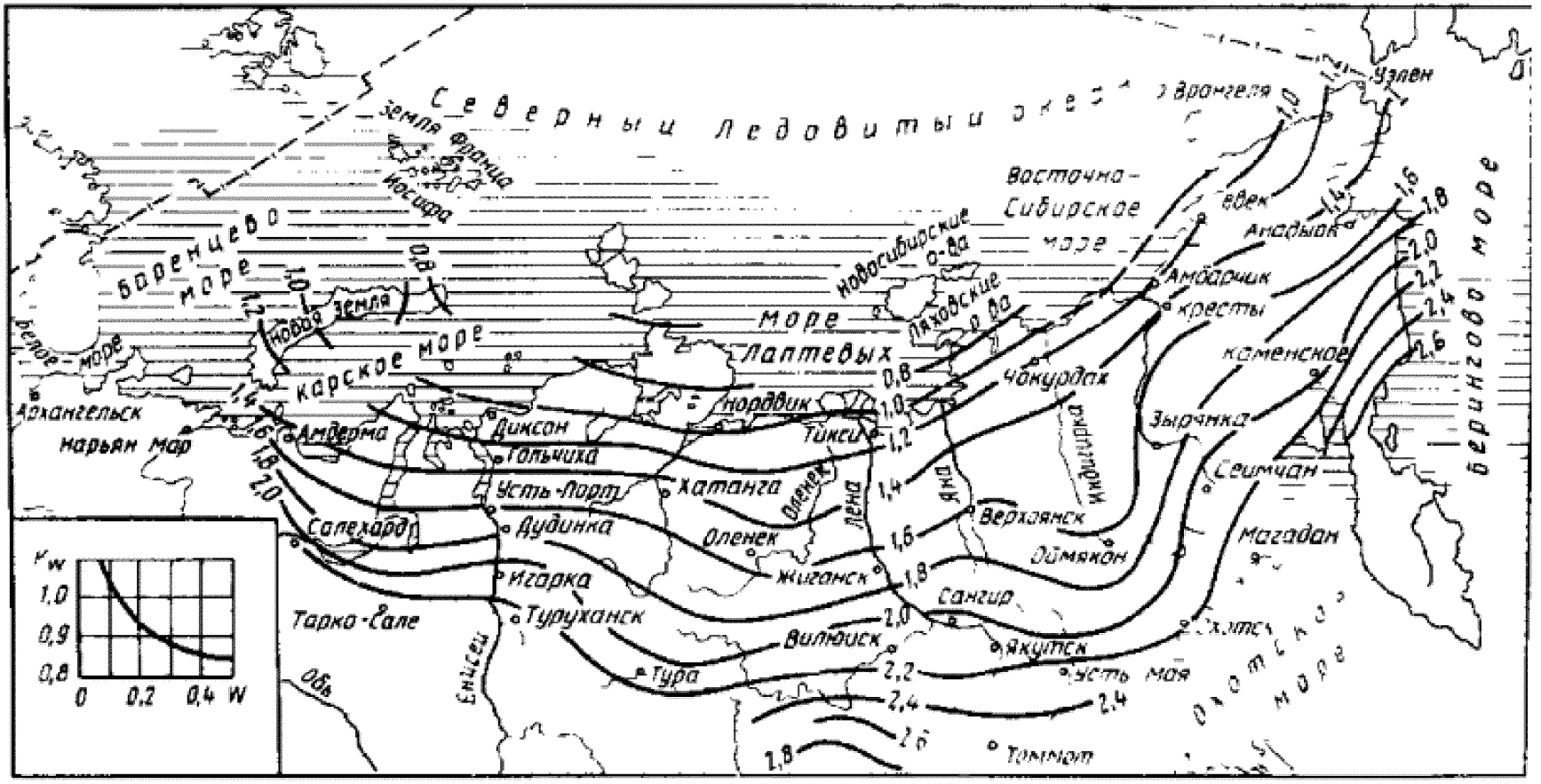


Рисунок 12 – Изолинии глубин сезонного оттаивания глинистых грунтов

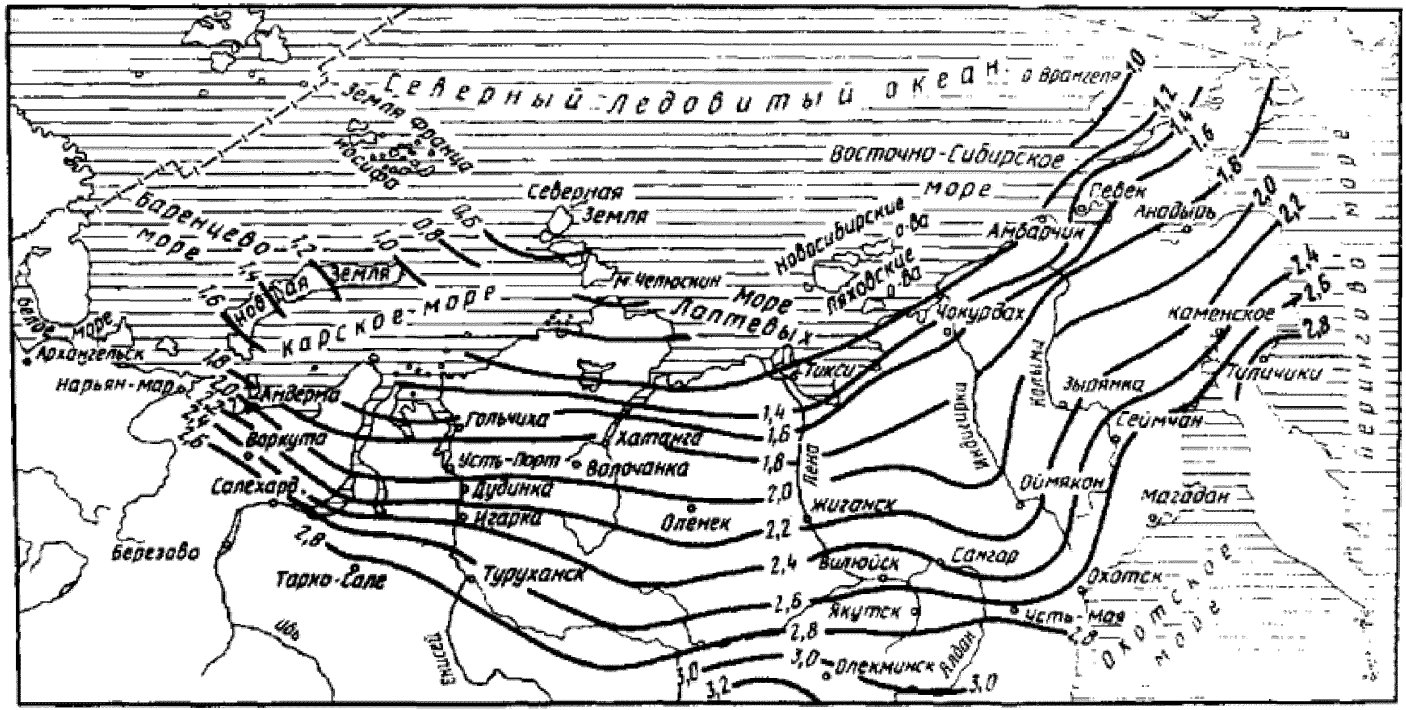


Рисунок 13 – Изолинии глубин сезонного оттаивания песчаных грунтов, подстилаемых глинистыми грунтами



Рисунок 14 - Изолинии глубин сезонного оттаивания заторфованных грунтов

Таблица 14 – Угол заложения откоса в зависимости от заложения откоса

m	1:1	1:1,5	1:2	1:3	1:4	1:5
φ, град	45	35	27	20	13	11

$\gamma = 90 + \varphi - \alpha$;

$tg\ \alpha = \frac{B}{2b}$ (при расчете для сечения по бровке насыпи) и $tg\ \alpha = \frac{B+B_н}{2(2b-H)}$ (при расчете для сечения в средней части откоса); $b = \frac{(2H\sqrt{1+m^2}+B)^2+4H^2}{8H}$;

H - высота насыпи, м; B – ширина насыпи поверху,м; $B_н$ – ширина насыпи понизу,м; m – заложение откоса;

7.3.4 Выполнив расчеты для каждого из рассматриваемых сечений земляного полотна, строят графики глубины оттаивания в поперечном профиле земляного полотна и определяют расстояние от подошвы насыпи до ореола оттаивания по формуле (11)

$$h_{от} = H_{от} - H \qquad (11)$$

По величине $h_{от}$ определяют ожидаемую осадку основания.

7.4 При проектировании по первому принципу, в целях недопущения потери устойчивости насыпи, должно быть обеспечено условие $h_{от} \leq 0$. Если при расчете получено $h_{от} > 0$, то необходимо увеличивать толщину слоя земляного полотна или предусматривать устройство дополнительного слоя из теплоизолирующего материала. При этом указанное условие должно выполняться в различных сечениях поперечного профиля: ось земляного полотна, бровка и середина откоса.

Особое внимание необходимо уделять и обеспечению необходимой форме ореола оттаивания. Ореол оттаивания должен иметь всегда выпуклую форму с пологими очертаниями.

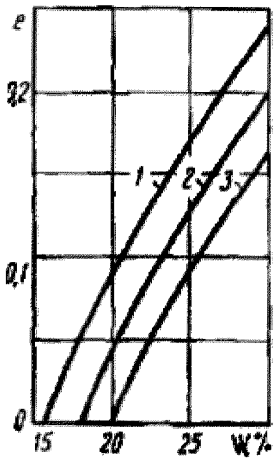
7.5 При проектировании по второму принципу общую устойчивость насыпи оценивают:

1) по разности осадок основания $S_{осн}$ в сечениях по бровке земляного полотна и в средней части откоса: разность осадок в указанных сечениях не должна превышать 10 см. Если данное условие не выполнено, то возможно появление трещин по бровкам земляного полотна и оползание откосов;
2) по величине суммарной осадки основания и нестабильных слоев насыпи: величина суммарной осадки насыпи по оси $S_{сум}$ должна быть меньше или равна допустимой осадке $S_{доп}$, определенной в зависимости от типа покрытия (таблица 9);
3) по форме ореола оттаивания. Ореол оттаивания должен иметь выпуклую форму и пологое очертание.

7.6 При проектировании по второму принципу на просадочных грунтах рассчитывают величины осадок основания земляного полотна ($S_{осн}$) в различных сечениях поперечного профиля (ось земляного полотна, бровка, середина откоса, подошва) по формуле (12)

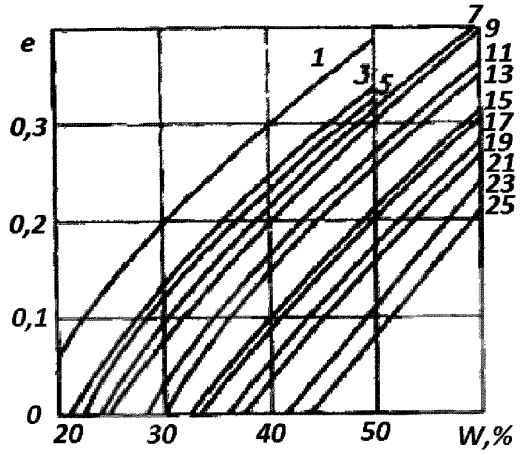
$$S_{осн} = e\, h_{от}\,, \qquad (12)$$

где e - относительная осадка грунта основания после его оттаивания под нагрузкой определяется по рисункам 15 и 16, в нулевых местах – по таблице 15, доли единицы.



1- песок крупный; 2 - песок средний; 3 - песок мелкий и пылеватый

Рисунок 15 – Относительная осадка *e* песчаных грунтов основания при оттаивании под нагрузкой 0,075 МПа



Цифры у кривых – число пластичности глинистого грунта

Рисунок 16 – Относительная осадка *e* глинистых грунтов при оттаивании под нагрузкой 0,075 МПа.

Таблица 15 – Относительная осадка *e* просадочных грунтов основания в нулевых местах (подошва насыпи)

Грунт основания	Относительная осадка e, доли единицы
Супесь пылеватая	0,14 – 0,20
Суглинок пылеватый	0,12 – 0,20
Глина пылеватая	0,10 – 0,15

При наличии в основании насыпи глинистых грунтов с крупнообломочными включениями относительную осадку, определенную по графику на рисунке 16 , корректируют с помощью коэффициента по таблице 16.

Таблица 16 - Коэффициент, учитывающий содержание крупных фракций

Наименование грунтов	Коэффициент, учитывающий содержание крупных фракций, %	
	25-35	35-50
Супесь: легкая тяжелая пылеватая	 1,0 0,8	 0,5 0,6
Суглинок: легкий тяжелый	 0,8 0,8	 0,6 0,55
Глина	0,8	0,55

При сливающейся мерзлоте расчетную относительную осадку ***e*** при оттаивании под насыпью органических грунтов принимают то таблице 17.

Таблица 17 – Расчетная относительная осадка ***e*** при оттаивании под насыпью органических грунтов

Тип грунтов	Расчетная относительная осадка e, д.е.
Торфяные грунты: лесотопяная залежь топяная залежь	 0,40 0,45
Ненарушенный мохово-торфяной покров, включая почвенный слой	0,30
Теплоизолирующие слои из торфа и мха	0,35

7.7 При наличии в теле насыпи нестабильных слоев из

переувлажненных глинистых грунтов, рассчитывают осадку указанных слоев. Суммарная осадка определяется как общая осадка основания и нестабильных слоев насыпи.

Осадка нестабильных слоев из переувлажненного глинистого грунта неконсолидируемой зоны насыпи определяется по формуле (12)

$$S_н = h_н \left(1 - \frac{К_у^{мерз}}{К_у^{тал}}\right), \quad (12)$$

где $h_н$ – толщина слоя мерзлого грунта насыпи, см;

$К_у^{мерз}$ - прогнозируемый минимальный коэффициент уплотнения мерзлого грунта, принимаемый по таблице 6;

$К_у^{тал}$ - требуемый минимальный коэффициент уплотнения после оттаивания мерзлого грунта, принимаемый по таблице 1.

7.8 Величину осадки $S_к$ уплотнения активного слоя грунта $h_к$ определяют по результатам компрессионных испытаний с учетом значения модуля осадки и толщины консолидируемого слоя.

Ориентировочно запас на осадку консолидируемой зоны насыпи рекомендуется принимать по таблице 18 или в соответствии с методикой, изложенной в приложении А.

Таблица 18 - Запас на осадку консолидируемой зоны насыпи

Вид грунта	$К_{увл}$	Запас на осадку, %, при высоте насыпи H, м			
		4	6	8	10
Легкий суглинок	1,2	-	1,0	1,2	1,5
	1,4	1,0	1,5	2.0	3,0
	1,5	1.0	2,0	3,0	3,5
Тяжелый суглинок и глина	1,2	-	-	1,0	1,5
	1,4	-	1,0	2,0	3,0
	1.5	1.0	2,0	3,0	4,0

7.9 Суммарную осадку насыпи и основания определяют по формуле (13)

$$S_{сум} = S_{осн} + S_н + S_к \quad (13)$$

где $S_к$ – осадка глинистого грунта консолидируемой зоны нестабильного слоя насыпи, см,

$S_{осн}$ – осадка в основании насыпи, см.

7.10 На основании изложенной методики представляется возможным в каждом конкретном случае назначать комплекс инженерных мероприятий, способствующих уполаживанию ореола оттаиваиния за счет понижения температуры многолетнемерзлой толщи на конкретных участках поперечного профиля.

К таким мероприятиям можно отнести: задержание переносимого ветрами снега на значительном удалении от земляного полотна, уплотнение снега в придорожной полосе, регулярное удаление снега с проезжей части и откосов насыпи, устройство слоев с геосинтетическими материалами, утепление откосов и устройство термоизоляции за подошвой насыпи, устройство покрытий с высокой отражательной способностью (например, цементобетонных вместо асфальтобетонных) и др.

Приложение А

Прогноз осадки консолидируемого слоя насыпи из глинистых переувлажненных грунтов и времени её завершения

А.1 Время завершения деформации уплотнения в консолидируемой зоне насыпи зависит от степени переувлажнения оттаявших грунтов, толщины вышележащего слоя, состава грунта, условий его дренирования и определяется на основе консолидационных испытаний в следующей последовательности

А.2 Осадку слоя оттаявшего переувлажненного грунта S вследствие его уплотнения под действием вышележащих слоев и собственной массы можно рассчитать по формуле

$$S = 0.001 \sum_{1}^{n} e_{pzl} \cdot H_i, \qquad (А.1)$$

где H_i - толщина расчетного слоя, м;

e_{pzl} - модуль осадки, определяемый по компрессионной кривой, соответствующий расчетной нагрузке $P_{zi.расч}$ данного слоя, мм/м.

Расчетную нагрузку $P_{zi.расч}$ (Па) на заданном горизонте следует определять по формуле

$$P_{zi.расч} = P_H + \gamma_w \cdot Z_i, \qquad (А.2)$$

где P_H - нагрузка от верхнего слоя грунта и пассивной зоны, Па;

γ_w - объемный вес грунта, Н/м^3;

Z_i - координата середины слоя, м.

А.3 Прогноз протекания осадки оттаявших глинистых грунтов повышенной влажности во времени рассчитывается:

а) на стадии первичной осадки по формуле

$$T_{\lambda iP} = a_{\lambda P} + b_{\lambda P} H_{\Phi}^2, \qquad (А.3)$$

где $T_{\lambda iP}$ -время завершения заданной относительной деформации при $\lambda_i < \lambda_I$ сут;

H_{Φ} - путь фильтрации, воды из расчетного слоя, м;

$a_{\lambda P}, b_{\lambda P}$ - консолидационные параметры, определяемые по кривым консолидации, соответственно мин и мин/см^2;

λi - заданная относительная деформация;

λ_I - то же, в момент завершения первичной осадки;

б) на стадии вторичной осадки по формуле

$$T_{\lambda iP} = T_I \cdot e^{\frac{\lambda_i - \lambda_I}{m_p}}, \quad (A.4)$$

где $T_{\lambda iP}$ - время завершения заданной относительной деформации при $\lambda_i > \lambda_I$., сут.;

T_I - время завершения первичной осадки, сут.;

m_p - консолидационный параметр вторичной осадки, определяемый как тангенс угла наклона прямолинейного участка консолидационной кривой к оси lg*t*.

А.4 Время завершения первичной осадки для приближенного прогноза можно рассчитать по формуле теории фильтрационной консолидации

$$T_I = t_i \left(\frac{H_\phi}{h_\phi}\right), \quad (A.5)$$

А.5 Для ориентировочных расчетов по таблице А.1 можно установить время Т достижения заданной степени консолидации U, и коэффициент уплотнения грунта $К_у$ в зависимости от разновидности грунта, толщины слоя Н, степени переувлажнения грунта $К_{увл}$ и начальной степени уплотнения $К_{у\,нач}$.

А.6 Достигнутую степень уплотнения $К_у$ в зависимости от массы вышележащих слоев (т.е. по высоте насыпи), вида грунта и степени его переувлажнения $К_{увл}$ можно ориентировочно определить по табл. А.2.

Таблица А.1 – Параметры консолидации в зависимости от разновидности грунта, его состояния и воздействующей нагрузки

Вид грунта (число пластичности)	H, м	P_{zi} расч. МПа (кгс/см^2)	$К_{увл}$	$К_{у\,нач}$	$К_у$ при степени консолидации U, %			T, годы, консолидация, U, %		
					50	80	100	50	80	100
Суглинок легкие	2	0,05 (0,5)	1,2	0,96	0,97	0,97	0,98	0,5	0,5	0,75
			1,4	0,94	0,95	0,86	0,97	0,5	0,5	1,0
($7 < I_p < 12$			1,5	0,92	0,93	0,94	0,95	0,5 - 1,0	0,75 - 1,0	1,0 - 2,0
Суглинок тяжелый	1	0,1 (1,0)	1,2	0,95	0,95	0,96	0,96	1,0	1,5	2,0
			1,4	0,87	0,88	0,89	0,89	1,5	2,0	2,5
($12 < I_p \leq 17$			1,5	0,81	0,82	0,83	0,83	2,0	2,5	3,0
Глина ($I_p > 17$)	2	0,1 (1,0)	1,2	0,95	0,95	0,86	0,96	2,0	2,5	3,0
			1,4	0,87	0,88	0,89	0,88	2,5	3,0	3,5
			1,5	0,81	0,82	0,83	0,83	3,0	3,5	5,0

Таблица А.2 – Степень уплотнения грунта K_y в зависимости от нагрузки вышележащих слоев P

$K_{увл}$	K_y в зависимости от нагрузки вышележащих слоев P, МПа										
	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400
1,2	0,970 / –	0,976 / 0,950	0,983 / –	0,988 / 0,962	0,990 / –	– / 0,970	– / 0,975	– / 0,980	– / 0,987	– / 0,990	– / 0,995
1,4	0,954 / –	0,966 / 0,880	0,978 / –	0,982 / 0,895	0,986 / –	0,990 / 0,910	– / 0,915	– / 0,925	– / 0,930	– / 0,937	– / 0,945
1,5	0,950 / –	0,952 / 0,830	0,960 / –	0,967 / 0,850	0,970 / –	0,977 / 0,890	0,980 / 0,890	0,985 / 0,915	0,990 / 0,925	– / 0,930	– / 0,935

Примечание – Над чертой даны значениях K_y для легкого суглинка, под чертой - для тяжелого суглинка и глины

Приложение Б

Пример расчета устойчивости насыпи запроектированной по второму принципу

Б.1 Требуется запроектировать автомобильную дорогу по второму принципу при следующих исходных данных:

- Автомобильная дорога III категории располагается в I_1 ДКЗ Ямало-Ненецкого АО;
- Грунт деятельного слоя – суглинок тяжелый, I_p =19%, W = 40%;
- Конструкция дорожной одежды: покрытие – (1) асфальтобетон мелкозернистый, 8 см и (2) асфальтобетон крупнозернистый, 12 см; основание – ЩПС, 30 см; дополнительный слой основания – песок мелкий, 100 см;
- Земляное полотно: грунт – суглинок тяжелый, 50 см, W = 25%; заложение откосов – 1:3; ширина по верху В=12м; то же по низу $В_н$=24м;
- Конструкция укрепления откосов и подошвы насыпи: материал – торфо-песчаная смесь; толщина укрепления на откосе – 0,25 м; то же у подошвы – 0,30 м;
- Ориентация автомобильной дороги по оси: Запад – Восток.

Б.2 Дорожная конструкция и ее расчетные параметры сведены в таблицу Б.1.

Таблица Б.1

Конструкция ДО и ЗП	Толщина слоя, см	W, %	$К_{П}$, (п.7.3.2)	$К_{W}$, (п.7.3.2)	$Н_{ci}^{норм}$, м	$Н_{ci}$, м
А/Б м/з	8	1	1,3	1,08	2,6	2,6·1,08·1,3=3,65
А/Б кр/з	12	1	1,3	1,08	2,6	2,6·1,08·1,3=3,65
ЩПС	30	5	1,13	1,0	2,6	2,6·1,0·1,13=2,94
Песок мелкий	100	8	1,0	0,95	2,4	2,4·1,0·0,95=2,13
Суглинок тяжелый	50	25	1,0	0,90	1,8	1,8·0,9=1,62
Основание (деятельный слой)	–	40	1,0	0,85	1,8	1,8·0,85=1,53
	$H=\Sigma h_i$=200					

Б.3 Определяют положение границы оттаивания грунта в основании насыпи:

Производят расчет глубины сезонного оттаивания конструкции насыпи по оси насыпи.

Глубину оттаивания слоистого полупространства по оси определяют по формуле (5):

$$Н_{к.ось} = 1,53 + 0,2\left(1 - \frac{1,53}{3,65}\right) + 0,30\left(1 - \frac{1,53}{2,94}\right) + 1,0\left(1 - \frac{1,53}{2,13}\right) + 0,5\left(1 - \frac{1,53}{1,62}\right) = 2,1 м$$

Т.к. для сечения по оси насыпи: ψ=1 и β =1, то $Н_{от}$ = 2.1м > Н=2,0м

Расположение ореола оттаивания определяют по формуле (11):

$h_{от} = Н_{от} – Н$=2.1- 2.0 =0,1м

Величину осадки основания земляного полотна в сечении по оси земляного полотна определяют по формуле (12): $S_{осн} = e\ h_{от}$ =0,03·10см = 0,3 см

По рис. 16: e=0,03

Осадку нестабильного слоя из мерзлого глинистого грунта неконсолидируемой зоны насыпи определяют по формуле (12)

$$S_н = h_н \left(1 - \frac{К_у^{мерз}}{К_у^{тал}}\right) = 50\left(1 - \frac{0,87}{0,95}\right) = 4,2 \text{ см}$$

Суммарная осадка основания и нестабильного слоя насыпи в период эксплуатации составит:

$$S_{сум} = S_{осн} + S_н = 4,2 + 0,3 = 4,5 \text{см}$$

Допустимая осадка с учетом наличия армирующих прослоек из геотекстиля (см. табл.9) составляет $S_{доп} = 4,8$ см.

$S_{сум} < S_{доп}$

Таким образом, прогнозируемая осадка насыпи не превышают допустимые.

Б.4 Определяют положение границы оттаивания грунта в основании насыпи под бровкой насыпи ($Н_{бр}$=1,88м):

- $Н_{к.бр} = 1,53 + 0,38\left(1 - \frac{1,53}{2,13}\right) + 1,0\left(1 - \frac{1,53}{2,13}\right) + 0,5\left(1 - \frac{1,53}{1,62}\right) = 1,95$м
- По формуле (10): $Н_{от} = \psi\beta Н_{к.бр}$

Для сечения по бровке насыпи: ψ=1

Определяют величину β:

- $b = \frac{(2H\sqrt{1+m^2}+B)^2+4H^2}{8H} = \frac{(2\cdot2\sqrt{1+3^2}+12)^2+4\cdot2^2}{8\cdot2} = 39$
- $tg\ \alpha = \frac{B}{2b} = \frac{12}{2\cdot2} = 0,15$; α=9,5°;
- $\gamma = 90° + \varphi - \alpha = 90° + 20° - 9,5° = 100,5°$;
- $\beta = \frac{sin\gamma}{\sin(90-\varphi)} = \beta = \frac{sin100,5}{\sin(90-20)} = 1,04$

Глубина оттаивания конструкции под бровкой насыпи составит: $Н_{от}$= 1,95·1,04=2,03м

Глубина оттаивания грунта деятельного слоя: $h_{от} = Н_{от} - Н_{бр}$=2,03- 1,88 =0,15м

Тогда осадка под бровкой насыпи в деятельном слое составит:

$S_{осн.бр} = e\ h_{от}$ =0,03·15см = 0,45 см;

Б.5 Определяют положение границы оттаивания грунта в основании насыпи под серединой откоса (0,5 $Н_{отк}$=1,0м):

$$Н_{к.отк} = 1,53 + 0,5\left(1 - \frac{1,53}{2,13}\right) + 0,5\left(1 - \frac{1,53}{1,62}\right) + 0,25\left(1 - \frac{1,53}{0,66}\right) = 1,37\text{м}$$

По табл. 13: $\psi^{ю} = 1,1$; $\psi^{с} = 0,9$.

Определяют величину β:

- b=39м (см. расчет по оси насыпи);
- $tg\ \alpha = \frac{B+B_н}{2(2b-H)} = \frac{12+24}{2(2\cdot39-2)} = 0,24$; α=13,3°;
- $\gamma = 90° + \varphi - \alpha = 90° + 20° - 13,3° = 96,7°$;
- $\beta = \frac{sin\gamma}{\sin(90-\varphi)} = \beta = \frac{sin96,7}{\sin(90-20)} = 1,05$

По формуле (10) глубина оттаивания дорожной конструкции под серединой откоса в зависимости от экспозиции откоса составит:

- Южный откос – $H_{от}$=1,37·1,05·1,1=1,59м;
- Северный откос – $H_{от}$=1,37·1,05·0,9 =1,29 см.

Глубина оттаивания основания в этой зоне составит:

- Южный откос – $h_{от} = H_{от} - H_{бр}$=1,59 – 1,0 =0,59м;
- Северный откос – $h_{от} = H_{от} - H_{бр}$=1,29 – 1,0 = 0,29 м.

Тогда осадка под серединой откоса насыпи в деятельном слое в зависимости от экспозиции откоса составит:

Юг – $S_{осн.отк} = e\ h_{от}$ =0,03·59 см = 1,77 см;

Север – $S_{осн.отк} = e\ h_{от}$ =0,03·29 см = 0,87 см

Согласно п. 7.5 разность осадок основания $S_{осн}$ в сечениях по бровке земляного полотна и в средней части откоса не должна превышать 10 см. Это требование для рассматриваемой насыпи выполнено.

Б.6 Определяют положение границы оттаивания грунта у подошвы насыпи:

$H_{к.под} = 1,53 + 0,30\left(1 - \frac{1,53}{0,66}\right) = 1,13$м

β=1,0. По табл. 13: $\psi^{ю} = 1,1$; $\psi^{с} = 0,9$.

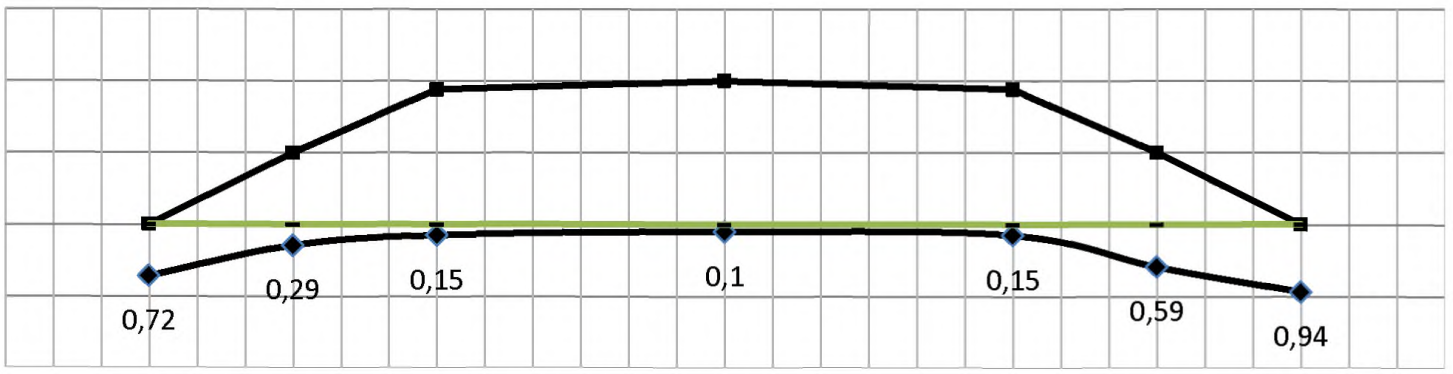
По формуле (10) глубина оттаивания конструкции у подошвы насыпи в зависимости от экспозиции откоса составит:

- Южный откос – $H_{от}$=1,13·1,0·1,1=1,24м;
- Северный откос – $H_{от}$=1,13·1,0·0,9 =1,02 см.

Глубина оттаивания основания в этой зоне составит:

- Южный откос – $h_{от} = H_{от} - H_{бр}$=1,24 – 0,30 =0,94м;
- Северный откос – $h_{от} = H_{от} - H_{бр}$=1,02 – 0,30 = 0,72 м.

Б.7 Строим график границы оттаивания. Ореол оттаивания имеет выпуклую форму и пологое очертание.



Цифры у кривой – глубина оттаивания мерзлого слоя, м

Рисунок Б.1 – Ореол оттаивания грунта основания под насыпью

Библиография

[1] ВСН 84-89 — Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты

[2] Давыдов В.А., Э.Д. Бондарева — Изыскания и проектирование автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах: учебное пособие/ В.А. Давыдов, Э.Д. Бондарева. – Омск: ОмПИ, 1989.

[3] Методические рекомендации — Методические рекомендации по сооружению земляного полотна автомобильных дорог из грунтов повышенной влажности. М.: Союздорнии, 1980

[4] Давыдов В.А. — Особенности изысканий и проектирования автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты: учебное пособие/ В.А. Давыдов. – Омск: ОмПИ, 1979.

[5] ВСН 204-88 — Специальные нормы и технические условия на проектирование и строительство автомобильных дорог на полуострове Ямал

[6]Методические рекомендации — Методические рекомендации по проектированию и строительству земляного полотна в зоне вечной мерзлоты с использованием разрыхленных мёрзлых грунтов, сохраняемых в мёрзлом состоянии во время эксплуатации (для опытно-экспериментального строительства)

[7] ВСН 26-90 — Инструкция по проектированию и строительству автомобильных дорог нефтяных и газовых промыслов Западной Сибири. М., 1991

[8] Методические указания — Методические указания по конструкциям и расчету автомобильных дорог и малых искусственных сооружений в условиях Крайнего Северо - Востока СССР

[9] ОДН 218.046 - 01 — Проектирование нежестких дорожных одежд

ОКС

Ключевые слова: многолетнемерзлые грунты, глинистые переувлажненные грунты, торфяные грунты, талые и мерзлые грунты

Руководитель организации-разработчика

ООО Центр стратегических автодорожных исследований (ООО «ЦАДИ»)

Генеральный директор, д.т.н. В.А.Кретов

gost.e-ecolog.ru