МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО–ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА ПУЧИНИСТЫХ ГРУНТАХ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Москва 1986

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора института
Н. Б. Соколов
3 марта 1986 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА ПУЧИНИСТЫХ ГРУНТАХ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Согласованы Главтранспроектом

Москва 1986

УДК 625.114:624.139 (083.75)

Научный редактор д-р техн.наук Н.А.Перетрухин

© Всесоюзный ордена Октябрьской Революции
научно-исследовательский институт
транспортного строительства, 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Методические рекомендации разработаны в развитие действующих нормативных документов по изысканию, проектированию и строительству земляного полотна железных дорог (СНиП II-39-76, СН 449-72 и др.) на основе опыта проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна железных дорог в районах Севера Европейской части СССР, Сибири и Дальнего Востока, а также результатов научных и экспериментальных работ, выполненных ЦНИИСом, Союздорнии, ВНИИЖТом, НИИЖТом, ХабИЖТом и др.

В работе содержатся рекомендации по предотвращению возможности образования неравномерных пучинных деформаций железнодорожного земляного полотна, нарушающих нормальное движение поездов. Использование Методических рекомендаций позволит исключить непроизводительные затраты, связанные с выправкой пути при его текущем содержании, устранить ограничения скоростей движения поездов и провозной способности железных дорог.

Методические рекомендации разработали: канд.техн. наук Ю.Д.Дубнов, д-р техн.наук Н.А.Перетрухин, кандидаты техн.наук П.Г.Пешков, Н.А.Цуканов (ЦНИИС), канд. геол.-мин.наук М.В. Аверочкина, канд.техн.наук П.И.Дыдышко (ВНИИЖТ), канд.техн.наук Г.П.Бредюк (НИИЖТ), инженеры В.А.Миронов, Г.П.Минайлов (Тындинская мерзлотная станция), канд.техн.наук Я.А.Кроник (МИСИ им.В.В.Куйбышева) при участии инженеров Н.И.Басалаева, А.П.Кудрявцева, Е.А.Бойцова (Ленгипротранс), Э.А.Притца, Н.П.Мурованного (Сибгипротранс) и Г.И.Курковой (Мосгипротранс).

Замечания и предложения просьба направлять по адресу: 129329, Москва, ул.Кольская, д.1, ЦНИИС.

Зав. отделением земляного
полотна и верхнего
строения пути П.Г.Пешков

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Методические рекомендации предназначены для использования при изысканиях, проектировании и строительстве земляного полотна на участках с пучинистыми грунтами, залегающими в основании насыпей и в выемках. Они учитывают суровые климатические и сложные мерзлотно-грунтовые условия Байкало-Амурской магистрали и аналогичных линий, проходящих в районах глубокого сезонного промерзания и вечной мерзлоты.

1.2. Земляное полотно с противопучинными мероприятиями и устройствами необходимо проектировать на основе данных инженерно-геологических, гидрогеологических и мерзлотно-грунтовых обследований, выполняемых в соответствии с требованиями действующих нормативных документов и настоящих Методических рекомендаций с учетом прогнозируемых изменений мерзлотно-грунтовых условий, которые произойдут в результате освоения полосы отвода, строительства земляного полотна и последующей эксплуатации железной дороги.

1.3. При разработке противопучинных устройств необходимо учитывать, что, как правило, глубина сезонного промерзания земляного полотна по оси пути больше, чем глубина промерзания грунта в естественных условиях; в районах вечной мерзлоты на участках с высокотемпературными вечномерзлыми грунтами в теле высоких насыпей и грунтах основания земляного полотна в процессе эксплуатации образуются талики, не промерзающие за зимний период, что приводит к увеличению влажности пучинистых грунтов основания по сравнению с их состоянием в естественных условиях.

1.4. В случае образования неравномерных пучинных деформаций в период временной эксплуатации дороги инженерно-геологическое обследование деформирующихся участков пути и проектирование противопучинных конструкций следует выполнять в соответствии с "Рекомендациями по устранению пучин и просадок пути при временной эксплуатации БАМа" (М., Транспорт, 1982).

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПУЧИНООПАСНЫХ УЧАСТКОВ И ГРУНТОВ

2.1. Пучиноопасными следует считать участки трассы с такими мерзлотно-грунтовыми гидрогеологическими условиями, при которых в случае применения типовых конструкций земляного полотна величина морозного пучения грунтов и ее неравномерность окажутся больше допустимых значений по нормам содержания пути.

2.2. К пучиноопасным участкам земляного полотна следует относить:

выемки, нулевые места и насыпи высотой до 2 м при залегании в их основании до глубины сезонного промерзания пучинистых грунтов, а также разнородных (пучинистых и непучинистых) грунтов, в том числе участки трассы, имеющие мелкобугристый рельеф;

насыпи, отсыпаемые пучинистыми крупнообломочными грунтами с глинистым заполнителем на высоту менее 1 м и глинистыми грунтами или пылеватыми песками на высоту менее 2 м;

выемки в легковыветривающихся породах в условиях избыточного увлажнения или близкого залегания грунтовых вод;

концевые участки выемок в скальных дренирующих и других непучинистых грунтах, если эти участки сложены пучинистыми грунтами; насыпи в пределах марей и других бессточных и слабосточных участков трассы (в том числе на подходах к выемкам);

участки пересечения трубопроводами земляного полотна из пучинистых грунтов;

насыпи из глинистых грунтов и насыпи высотой менее 5 м с пучинистыми грунтами основания на примыканиях к мостам и водопропускным трубам;

участки косогоров круче 1:5, сложенные дренирующими или трещиноватыми скальными породами при наличии грунтовых вод в пределах глубины промерзания.

2.3. К грунтам, подверженным морозному пучению, относятся:

глинистые грунты (глины, суглинки, супеси);

легковыветривающиеся породы (сланцы, алевролиты, аргиллиты, мергели) в зоне активного выветривания;

крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем;

пылеватые пески при насыщении их водой;

торфы и заторфованные грунты.

2.4. Крупнообломочные грунты следует считать пучинистыми при содержании в них частиц размером менее 0,1 мм в количестве, равном или больше 30 % при глубоком залегании грунтовых вод (ниже расчетной глубины сезонного промерзания на 1 и более метров) и больше или равном 20 % при близком (меньше 1 м) залегании грунтовых вод.

2.5. Оптимальную влажность крупнообломочных грунтов $W_{ок}$ с глинистым заполнителем следует определять по данным стандартного уплотнения в цилиндрах диаметром 30–50 см или по данным стандартного уплотнения только глинистого заполнителя в приборах Союздорнии или ЦНИИС согласно СН 449-72 с пересчетом ее на влажность всего крупнообломочного грунта по формуле

$$W_{ок} = W_{ом}(1 - p) + W_к p, \qquad (1)$$

где $W_{ом}$ – оптимальная влажность глинистого заполнителя, определяемая при стандартном уплотнении согласно СН 449-72;

$W_к$ – влажность крупных частиц в долях единицы, определяемая в соответствии с "Инструкцией по возведению грунтовых противофильтрационных устройств плотин в северной строительно-климатической зоне" (М., изд.Гидропроекта им.С.Я.Жука – МИСИ им.В.В.Куйбышева, 1979);

p – содержание крупных частиц в долях единицы.

2.6. Максимальную стандартную плотность крупнообломочных грунтов $\gamma_{max к}$ рекомендуется определять опытным путем или по данным стандартного уплотнения только глинистого заполнителя с пересчетом ее на весь объем крупнообломочного грунта по формуле

$$\gamma_{max\,к} = \frac{\gamma_к \gamma_{max\,м}}{\gamma_к(1-p) + \gamma_{max\,м} p(1 + \gamma_к W_к)}, \quad (2)$$

где $\gamma_к$ – плотность крупных частиц, г/см^3;

$W_к$ – влажность крупных частиц, %.

2.7. Пучиноопасные участки трассы выявляются по материалам инженерно-геологических и мерзлотно-грунтовых изысканий.

2.8. Пучиноопасные участки трассы следует, как правило, обходить. При невозможности обхода необходимо на этих участках применять противопучинные конструкции и осуществлять мероприятия в соответствии с настоящими Методическими рекомендациями.

3. МЕРЗЛОТНО-ГРУНТОВОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПУЧИНООПАСНЫХ УЧАСТКОВ

3.1. С целью получения исходных данных для проектирования эффективных пучиноустойчивых конструкций земляного полотна в пределах участков, перечисленных в п.2.2, на стадии рабочих чертежей необходимо выполнять детальное мерзлотно-грунтовое обследование трассы. Местоположение, количество и глубину разведочных выработок следует устанавливать индивидуально для каждого участка в зависимости от степени сложности местных условий, а также от вида и размеров земляного полотна.

Во всех случаях в пределах полосы размещения основной площадки земляного полотна выработки необходимо проходить на глубину, превышающую на 1–2м и расчетную глубину промерзания, определяемую в соответствии с разд. 5 настоящих Методических рекомендаций.

3.2. В результате мерзлотно-грунтового обследования должны быть установлены следующие данные:

состав и основные физико-технические характеристики разновидностей грунтов в обследуемой зоне, а также структурные и текстурные особенности этих грунтов;

характер напластований грунтов по простиранию и глубине, в том числе положение границ литологических слоев, направление и крутизна плоскости контактов пучинистых и непучинистых грунтов;

глубина залегания, состояние и свойства вечномерзлых грунтов;

глубина залегания грунтовых вод и их режим, мощность, фильтрационные свойства и водообильность водовмещающих пород, а также температура грунтовых вод на участках с вечномерзлыми грунтами.

Состав и состояние грунтов, используемых для земляного полотна, рекомендуется устанавливать по результатам лабораторных анализов проб, отобранных при бурении и шурфовании. Для глинистых грунтов достаточно определить естественную влажность и пределы пластичности, для крупнообломочных грунтов с глинистым заполнителем - естественную влажность и пределы пластичности глинистого заполнителя, гранулометрический состав, а для пылеватых песков - естественную влажность и гранулометрический состав.

При проходке выработок пробы для определения естественной влажности необходимо отбирать: через 0,2 м - в глинистых грунтах, через 0,5 м - в крупнообломочных грунтах с глинистым заполнителем; пробы для определения пределов пластичности глинистых грунтов, а также гранулометрического состава крупнообломочных грунтов с глинистым заполнителем и пылеватых песков требуется отбирать из каждой разновидности грунта, но не реже, чем через 1 м.

Границы текучести и раскатывания грунтов следует определять по ГОСТ 5180-84, гранулометрический состав крупнообломочных и песчаных грунтов - по ГОСТ 12536-79.

Естественную влажность крупнообломочных грунтов следует определять для всей пробы (суммарная влажность) - $W_{см}$ и отдельно - для глинистого заполнителя $W_м$. Естественную влажность глинистого заполнителя можно определить по формуле

$$W_м = \frac{W_{см} - W_{мм}}{1 - p}, \qquad (3)$$

где $W_{мм}$ – максимальная молекулярная влагоемкость частиц грунта размером больше 2 мм.

На основании полученных данных устанавливают консистенцию глинистых грунтов, в том числе глинистого заполнителя крупнообломочных грунтов.

Свойства вечномерзлых грунтов необходимо устанавливать в соответствии с положениями СНиП II-18-76 и "Руководства по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах" (М., Стройиздат, 1980).

Климатологические данные, характеризующие условия промерзания-оттаивания, следует устанавливать по материалам ближайшей к проектируемому участку земляного полотна метеорологической станции. В состав таких данных входят: сумма градусо-суток отрицательных и положительных температур наружного воздуха в год обследования, средняя многолетняя и максимальная за десятилетний период, определяемые по соответствующим значениям среднемесячной температуры воздуха, а также среднее многолетнее количество осадков по месяцам и толщина снежного покрова.

3.3. Анализ материалов мерзлотно-грунтового обследования пучиноопасных участков рекомендуется осуществлять с учетом схем (справочное приложение 1), позволяющих прогнозировать возможные деформации пути после сооружения земляного полотна в случае невыполнения противопучинных мероприятий в рассматриваемых условиях.

4. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОДЕФОРМАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

4.1. Для предотвращения возможности возникновения деформаций земляного полотна на участках с пучинистыми грунтами в основании насыпей и в выемках рекомендуется применять:

устройство дренирующей подушки в верхней части земляного полотна, возведенного из однородных глинистых грунтов;

замену пучинистых грунтов дренирующим материалом на часть или на полную глубину сезонного промерзания-оттаивания основания;

укладку теплоизоляционных покрытий для предотвращения сезонного промерзания пучинистых грунтов;

планировку основания низких насыпей при мелкобугристом рельефе местности, а также достаточно надежный отвод поверхностной воды и осушение грунтов основания посредством канав, кюветов, лотков, дренажей.

4.2. Дренирующую подушку в верхней части земляного полотна на насыпях, в выемках и нулевых местах, сложенных однородными глинистыми грунтами, следует предусматривать для обеспечения необходимой несущей способности основной площадки во избежание образования балластных корыт и лож.

Расчет горизонтальных дренажей в условиях мерзлоты можно выполнять в соответствии с "Рекомендациями по устранению пучин и просадок пути при временной эксплуатации БАМа".

Перечень рекомендуемых противодеформационных мероприятий в зависимости от вероятных причин образования деформаций при различных мерзлотно-грунтовых условиях и разных конструкциях земляного полотна приведен в табл. 1 .

4.3. В качестве дренирующего материала при замене пучинистых грунтов допускается использовать грунты:

гравийно-галечниковый или дресвяно-щебенистый с содержанием частиц размером менее 0,1 мм в количестве не более 15 %, в том числе глинистых не более 2 %, при плотности не менее 1,9 г/см^3;

песчаный с содержанием частиц размером менее 0,1 мм в количестве не более 15 %, в том числе глинистых не более 2 %, при плотности не менее 1,8 г/см^3;

скальные разрыхленные из слабовыветривающихся пород.

Таблица I

Вероятные причины возникновения деформаций	Вид и элементы земляного полотна	Возможные деформации	Рекомендуемые противодеформационные мероприятия
Неравномерное залегание неоднородных по пучинистым свойствам грунтов по глубине и простиранию в пределах всей глубины или верхней части слоя сезонного промерзания-оттаивания	Выемки и нулевые места с чередующимся залеганием по длине участка глинистых, крупнообломочных с глинистым заполнителем, дренирующих, скальных грунтов	Пучины всех видов (горбы, впадины, перепады), просадки пути	Устройство дренирующей подушки с заменой пучинистого грунта в верхней части слоя сезонного промерзания – оттаивания на глубину, назначаемую по расчету из условий: ограничения пучения допустимой величиной, устройства продольных сопряжений на концевых участках, прилегающих к дренирующему (скальному) грунту, обеспечения несущей способности основной площадки
	Концевые участки выемок в пучинистых грунтах, примыкающие к насыпям из дренирующих грунтов	Пучинные перепады, просадки пути	
	Выемки в непучинистых (скальных, дренирующих) грунтах с концевыми участками, сложенными пучинистыми грунтами	Пучинные горбы, просадки пути	Тепловая изоляция из пенопласта
	Полунасыпи и полувыемки на косогорах с неоднородными по пучинистым свойствам грунтами в поперечном сечении земляного полотна	Односторонние пучины, просадки пути	Устройство дренирующей подушки с заменой пучинистого грунта на глубину сезонного промерзания – оттаивания с устройством продольных сопряжений. Тепловая изоляция из пенопласта
То же в нижней части сезонно-промерзающего слоя	Низкие насыпи с разнородными по пучинистым свойствам грунтами в основании	Пучины всех видов	То же
	Низкие насыпи на пучинистом основании из однородных грунтов при мелкобугристом рельефе	То же	Планировка основания с устройством дренирующей подушки толщиной, назначаемой по расчету из условия обеспечения несущей способности пучинистых грунтов и допустимой величины пучения
Неравномерное увлажнение атмосферными осадками пучинистых грунтов, несущая способность которых при этом понижается	Выемки и нулевые места в однородных глинистых грунтах Насыпи из глинистых грунтов	Пучинные горбы, односторонние пучины, просадки пути, балластные корыта и ложа	Устройство дренирующей подушки толщиной, назначаемой по расчету из условия обеспечения несущей способности пучинистых грунтов
Неравномерное увлажнение пучинистых грунтов за счет местных выходов грунтовых вод или локальных скоплений воды	Выемки, нулевые места	Пучины всех видов, просадки пути	Каптаж и отвод грунтовых вод, вырезка и замена пучинистого грунта дренирующим на глубину, назначаемую по расчету. Тепловая изоляция из пенопласта
Пучинистые грунты основания при различной глубине залегания поверхности вечномерзлых грунтов	Низкие насыпи	Пучинные перепады	Назначение высоты насыпи из дренирующего грунта по расчету из условия предохранения пучинистых грунтов основания от сезонного промерзания и возникновения пучинных перепадов недопустимой величины
Изменение глубины промерзания – оттаивания земляного полотна под влиянием инженерных сооружений	Насыпи из пучинистых грунтов над водопропускными трубами	Пучинные горбы или впадины, просадки пути	Устройство над трубой подушки из дренирующего грунта с продольными сопряжениями
	Насыпи, выемки, нулевые места на участках пересечения с трубопроводами	Пучинные впадины	Устройство из дренирующего грунта подушки толщиной, назначаемой по расчету на глубину промерзания с продольными сопряжениями; тепловая изоляция из пенопласта с продольными сопряжениями
Насыпи из пучинистых грунтов	Насыпи на подходах к мостам и трубам	Пучинные перепады	Устройство из дренирующего грунта подушки толщиной, назначаемой по расчету на глубину промерзания с продольными сопряжениями
Оттаивание льдонасыщенных вечномерзлых грунтов основания	Насыпи, выемки, нулевые места в однородных пучинистых грунтах	Просадки пути	Вырезка и замена просадочных грунтов дренирующим материалом на величину, назначаемую по расчету из условия обеспечения несущей способности основания и допустимой величины пучения. Тепловая изоляция из пенопласта
Замерзание грунтовой воды в дренирующих грунтах основания при близком залегании водоупора	Выемки, нулевые места, низкие насыпи на косогорах круче 1:5 или у их подошвы	Наледные пучины	Устройство каптажа, дренаж и отвод грунтовых вод

При использовании скального грунта требуется предварительно отсыпать на глинистый грунт слой песка или мелкого гравийного либо дресвяного материала толщиной не менее 20 см. Пустоты в верхней части слоя из скального грунта необходимо заполнять мелкоразмерным скальным материалом или галечно-гравийным и дресвяным грунтом.

4.4. Для теплоизоляционных покрытий рекомендуется использовать пенопласт (см.разд.6).

5. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ПРОТИВОДЕФОРМАЦИОННОЙ ПОДУШКИ ИЗ ДРЕНИРУЮЩЕГО ГРУНТА

Основные положения

5.1. Толщину подушки из дренирующего грунта и величину вырезки пучинистых грунтов рекомендуется принимать по результатам расчетов, исходя из условий обеспечения требуемой несущей способности основной площадки земляного полотна, исключения возникновения пучин или ограничения допустимыми величинами возможных деформаций пути под воздействием морозного пучения грунтов.

5.2. Допустимой следует считать такую величину пучения грунта, при которой отклонения в продольном профиле не выходят за пределы установленных норм текущего содержания пути по условиям безопасности и плавности движения поездов (табл. 2).

Таблица 2

Установленные скорости движения поездов V, км/ч	51-70	71-120	121 -180
Допустимая величина пучения грунтов $h_{доп}$, мм	35	25	20

Расчет толщины дренирующей подушки по условию обеспечения несущей способности ее основания

5.3. Расчет толщины дренирующей подушки земляного полотна можно выполнять по условию обеспечения несущей способности основной площадки в соответствии с положениями "Рекомендаций по проектированию земляного полотна дорог в сложных инженерно-геологических условиях" (М., ЦНИИС, 1974) и "Рекомендаций по проектированию противодеформационных мероприятий на участках весенних просадок пути" (М., Транспорт, 1982).

Расчетное состояние грунта при этом принимается на периоды его оттаивания. Для предотвращения возможности возникновения деформаций пластических сдвигов в верхней части толщи оттаивающего грунта должно быть выполнено условие равенства критической нагрузки $p_{кр}$ на грунт (несущей способности) и суммарного напряжения σ от поездной нагрузки и собственного веса грунта[1].

Для расчета можно использовать эпюры распределения по глубине критической нагрузки $p_{кр}$ и суммарных напряжений σ в грунтах основания пути (рис. 1) при движении поездов со скоростью 100 км/ч для различных условий эксплуатации (вагоны - четырех- и восьмиосные, осевая нагрузка 22 и 25 т на ось).

5.4. Критическая нагрузка на грунт $p_{кр}$, 10^5 Па (кгс/см^2), равная возникающему напряжению σ в грунтах основания, устанавливается из зависимости

$$p_{кр} = \frac{\pi \left(\frac{c}{tg\varphi} + 0{,}1\gamma h \right)}{ctg\varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} + 0{,}1\gamma h , \qquad (4)$$

---

1 Перетрухин Н.А., Саатчян Г. Г. Определение глубины вырезки слабых грунтов под основной площадкой в выемках и на нулевых местах. Сб.научных сообщений, вып. 8. М., Трансжелдориздат, 1963, с.85-100.

где C – сцепление, 10^5 Па (кгс/см^2);

φ – угол внутреннего трения, рад.;

γ – плотность влажного грунта, г/см^3;

h – расстояние от подошвы балластного слоя до расчетного уровня, м.

Критическую нагрузку следует определять для двух сечений, например, для $h_1 = 0$ и $h_2 = 1$ м от подошвы балластного слоя. По результатам расчета строится линия АВ распределения $p_{кр}$ и действующих суммарных напряжений по глубине (см. рис. 1).

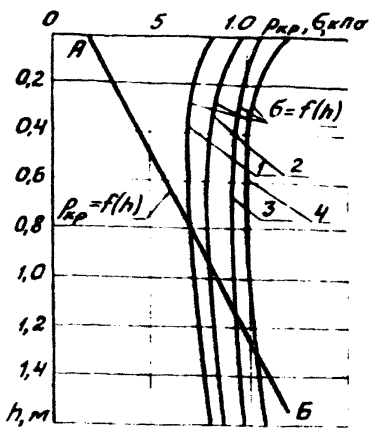


Рис. 1. Распределение по глубине h критической нагрузки $p_{кр}$ и напряжений в грунте б :

1 – при четырехосных вагонах с осевой нагрузкой 22 т/ось; 2 – то же, с осевой нагрузкой 25 т/ось; 3 – при восьмиосных вагонах с осевой нагрузкой 22 т/ось; 4 – то же с осевой нагрузкой 25 т/ось

Необходимая толщина дренирующей подушки в пределах основной площадки земляного полотна находится по пересечению линии АВ и кривых распределения суммарных напряжений для заданных условий эксплуатации.

5.5. Прочностные характеристики (сцепление, угол внутреннего трения) должны соответствовать состоянию, в котором находится грунт расчетного слоя в период оттаивания. В зависимости от влажности и прочности грунта по глубине расчетом получают глубину вырезки и соответствующую толщину дренирующей подушки.

В качестве примера на рис. 2 приведены результаты расчетов глубины вырезки по трем вариантам сочетаний влажности W и прочностных характеристик оттаивающего грунта основания:

1. $W^{р}$ = 29 %; c = 0,05 кгс/см^2 (10^5 Па); φ = 14°.
2. $W^{р}$ = 25 %; c = 0,10 кгс/см^2 (10^5 Па); φ = 18°.
3. $W^{р}$ = 21 %; c = 0,13 кгс/см^2 (10^5 Па); φ = 19°.

Принимая минимальную прочность грунта $p_{кр}$ = = 2,5 кПа под балластным слоем при h_1 = 0 и 10 кПа на глубине h_2 = 2 м (вариант 1), получаем прямую 1 распределения $p_{кр}$ по глубине. Принимая на контакте с балластным слоем на глубине h_1 = 0 минимальную прочность грунта, как для варианта 1, а на глубине h_2 = = 1 м характеристики, соответствующие вариантам 2 и 3, получаем прямые 2 и 3 распределения $p_{кр}$ по глубине. По точкам пересечения прямых 1, 2 и 3 с кривыми а и б распределения суммарных напряжений σ по глубине определяем шесть различных расчетных значений толщины дренирующей подушки, изменяющихся при рассмотренных условиях от 0,45 до 1,75 м.

5.6. Величины сцепления и угла внутреннего трения грунта основания рекомендуется определять в лабораторных условиях по следующей методике.

Образцы грунта, предназначенного для испытаний, вырезаются из монолитов посредством металлических колец, имеющих размеры, соответствующие типу сдвигового прибора. Внутренние стенки колец предварительно смазывают вазелином. Если отбор образцов грунта при инженерно-ге-

ологическом обследовании производился в летний период, то все образцы необходимо подвергать предварительному увлажнению до их полного водонасыщения. Для этого кольца с образцами грунта помещают на водонасыщенный песок, покрытый фильтровальной бумагой и накрывают сверху стеклом. Насыщение образцов водой производят до прекращения прибавления их в весе.

После этого образцы смазывают с торцов техническим вазелином или солидолом и подвергают промораживанию при температуре от минус 5 до минус 7 °С. Время промораживания и последующего оттаивания определяют пробным опытом на 1-2 образцах с числом циклов промораживания - оттаивания не менее двух. Промороженный образец помещают в обойму срезного прибора и сразу по истечении времени оттаивания производят его срез.

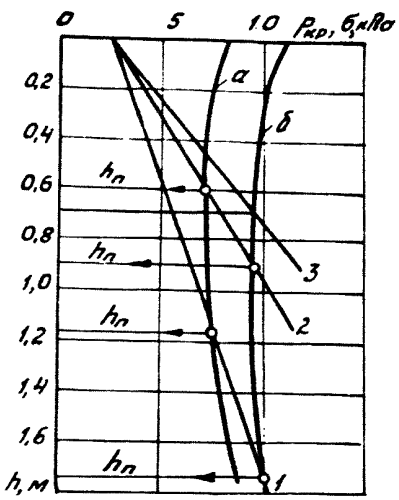


Рис. 2. Результаты расчетов глубины вырезки:
а - распределение по глубине напряжений при условии движения поездов из четырехосных вагонов с осевой нагрузкой 22 т/ось; б - то же из восьмиосных; 1, 2, 3 - распределение критической нагрузки при соответствующих вариантах расчетов (см.п.5.5.)

Для опытов могут быть использованы следующие приборы:
одноплоскостной срезной прибор Маслова-Лурье в модификации Гидропроекта;
одноплоскостной срезной прибор конструкции ЦНИИС Минтрансстроя;
одноплоскостной срезной прибор ВСВ-1 системы Гидропроекта.

Уплотняющие нагрузки назначают равными 0,2; 0,4 и 0,8 кгс/см^2 (10^5 Па) с повторностью испытания для каждой ступени уплотняющей нагрузки – не менее трех образцов.

Образцы грунта срезают по схеме быстрого недренированного – неконсолидированного сдвига. При этом время сдвига для приборов Маслова-Лурье не должно превышать 1–1,5 мин, а в приборе ВСВ-1 – 10 с. Сдвигающую нагрузку прикладывают ступенями с интервалами не более 10 с. Сдвиг считается завершенным, когда деформация образца происходит непрерывно после приложения последней ступени нагрузки. По окончании сдвига в зоне среза отбирают пробу грунта на влажность.

Результаты испытаний оформляют в соответствии с ГОСТ 12248-78 "Грунты. Метод лабораторного определения сопротивления сдвигу".

5.7. Ориентировочная величина сцепления оттаивающего грунта C_o может быть определена по формуле

$$C_o = \frac{C_т}{K_c} - B\int, \qquad (5)$$

где $C_т$ – сцепление талого грунта при влажности в летне-осенний период, 10^5 Па (кгс/см^2);

K_c – коэффициент снижения сцепления грунта после оттаивания, принимаемый равным для пылеватого суглинка 1,7; 1,5; 1,3 и 1,1 при плотности скелета $\gamma_{ск}$ = 1,65; 1,60; 1,55 и 1,50 г/см^3 соответственно;

для супесчаного грунта 2,0 и 1,6 при $\gamma_{ск}$ = 1,90 и 1,75 г/см^3 соответственно;

B – эмпирический коэффициент, учитывающий снижение прочности грунта за счет разупрочнения при пучении; принимается равным 0,007;

$\int$ – интенсивность пучения, %.

В табл. 3 приведена интенсивность пучения грунтов $\int$ в зависимости от естественной влажности W_e и влажности на границе раскатывания W_p.

Таблица 3

$W_e - W_p$	Естественная влажность грунта, W_e, %							
	20	22	24	26	28	30	32	34
1	2,1	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4,1	4,4
2	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,5	4,8	5,1
3	4,0	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	6,0	6,3
4	5,7	6,0	6,3	6,6	7,0	7,3	7,6	7,9
5	7,8	8,1	8,4	8,8	9,1	8,4	9,7	10,0
6	10,0	10,4	10,7	11,0	11,3	11,6	12,0	12,3
7	13,0	13,3	13,6	13,9	14,3	14,6	14,9	15,2
8	16,4	16,7	17,0	17,3	17,6	18,0	18,3	18,6
9	16,4	20,5	20,8	21,2	21,5	21,8	22,1	22,4
10	-	24,8	25,1	25,4	25,8	26,1	26,4	26,7

При оценке прочности грунта по формуле (5) принимается, что значения угла внутреннего трения в результате промерзания - оттаивания изменяются незначительно.

Расчет толщины подушки по условию ограничения величины пучения ее основания

5.8. Расчет толщины подушки по данному условию выполняют с использованием:

эквивалентной глубины промерзания - оттаивания;

прогнозируемой глубины промерзания - оттаивания.

5.9. Расчет с использованием эквивалентной глубины промерзания-оттаивания выполняют при наличии установленной прямыми замерами максимальной глубины промерзания-оттаивания грунтов по оси земляного полотна на эксплуатируемых участках железной дороги в условиях, аналогичных мерзлотно-грунтовым условиям в пределах рассматриваемого участка проектируемой линии.

При этом должны быть аналогичными:

вид и основные размеры земляного полотна и водоотводных устройств;

состав и состояние грунтов земляного полотна и его основания в пределах глубины сезонного промерзания - оттаивания;

величины климатических параметров (атмосферных осадков, в том числе снежного покрова, среднемесячной температуры наружного воздуха), причем многолетние среднемесячные суммы градусо-суток отрицательной температуры воздуха в районах эксплуатируемого и проектируемого участков не должны отличаться более чем на 200 градусо-суток.

Данные, характеризующие мерзлотно-грунтовые условия на эксплуатируемых участках земляного полотна, устанавливают согласно "Техническим указаниям по оздоровлению основной площадки земляного полотна на пучинных участках" (М., Транспорт, 1968).

5.10. Эквивалентную глубину промерзания - оттаивания $z_э$ определяют для однородного грунта (суглинка тяжелого и глины), который принимают в качестве эталонного. К ее величине приравнивают исходную (аналоговую) и проектную (с учетом устройства дренирующей подушки) глубину промерзания - оттаивания грунта по формуле

$$z_э = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{h_{iu}}{\kappa_{iu}} \sqrt{\frac{\Sigma T_{10}}{\Sigma T}} = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{h_{in}}{\kappa_{in}} , \qquad (6)$$

где h_{iu}, h_{in} - толщина i-го слоя грунта (балласта, материала подушки, грунтов земляного полотна) в пределах соответственно исходной и проектной глубин промерзания - оттаивания;

κ_{iu}, κ_{in} - коэффициенты эквивалентности соответствующего грунта или материала исходной и проектной конструкции основания пути принимаются по табл. 4. Они представляют собой отношение глубины промерзания - оттаивания данного грунта или материала к глубине промерзания - оттаивания эталонного грунта (суглинок тяжелый, глина);

n, m – число слоев разнородных грунтов и материалов в пределах соответственно исходной и проектной глубин промерзания – оттаивания;

ΣT_{10} – сумма градусо-суток отрицательной (в условиях глубокого сезонного промерзания и несливающейся мерзлоты) или положительной (в условиях сливающейся мерзлоты) температуры воздуха в наиболее суровую зиму или наиболее теплое лето за прошедшие 10 лет в районе проектируемого объекта по данным ближайшей метеостанции;

ΣT – то же для сезона, в котором определена исходная и проектная глубина сезонного промерзания – оттаивания.

Таблица 4

№ п/п	Грунты и материалы	Коэффициент эквивалентности K_i
1	Суглинки тяжелые, глины	1,00
2	Суглинки легкие	1,10
3	Супеси, пески мелкие и пылеватые	1,20
4	Пески гравелистые, крупные и средней крупности	1,30
5	Крупнообломочные грунты	1,50
6	Щебеночный балласт при деревянных шпалах	1,30
7	Щебеночный балласт при железобетонных шпалах	1,50
8	Песчано-гравийный балласт при деревянных шпалах	1,15
9	Песчано-гравийный балласт при железобетонных шпалах	1,30
10	Торф уплотнившийся под насыпью	0,50
11	Снег (при толщине слоя 10 см на пути)	0,35

5.11. Аналоговую глубину промерзания–оттаивания на участках с несливающейся мерзлотой и глубоким сезонным промерзанием – оттаиванием следует определять в конце зимы; на участках со сливающейся мерзлотой – в конце осени, с измерением одновременно толщины h_i каждой разновидности грунтов и материалов.

5.12. Эквивалентная глубина промерзания – оттаивания эталонного грунта (суглинка тяжелого, глины) может быть определена расчетным путем по известным апробированным методам, в частности с использованием номограмм рис. 3 и 4 (при $h_{ут} = 0$).

5.13. Эквивалентную глубину промерзания – оттаивания с использованием номограмм (см. рис. 3 и 4) определяют по формулам:

$$z_э = \beta z_{пр}; \quad z_э = \beta z_{от}, \qquad (6)$$

где β – коэффициент, учитывающий конструкцию земляного полотна, принимается равным 1,0 для нулевых мест, 0,95 для выемок, 1,05 для насыпей.

Номограммы на рис. 3 следует использовать для участков с глубоким сезонным промерзанием – оттаиванием грунтов или с несливающейся мерзлотой (см.рис. 3, а), а также для участков со сливающейся мерзлотой (см. рис. 3, б) в районах южнее 60° с.ш. и восточнее 110° в.д.

Для других районов со сливающейся мерзлотой следует использовать номограмму рис. 4.

5.14. Толщина подушки $h_п$ с использованием эквивалентной глубины сезонного промерзания – оттаивания определяется по формуле

$$h_п = к_д \left(z_э - \frac{h_б}{к_б} - \frac{h_з}{к_т}\right), \qquad (7)$$

где $h_б$ – проектная толщина слоя балласта, назначаемая по нормам СНиП П-39-76;

$к_д, к_б, к_г$ – коэффициенты эквивалентности соответственно дренирующего материала, балласта и пучинистого грунта; принимаются по данным табл.4;

$h_э$ – допустимая толщина слоя сезоннопромерзающего – оттаивающего грунта в основании подушки

$$h_э = \frac{h_{эоп}}{к_о \int^р} \cdot \qquad (8)$$

Здесь $h_{эоп}$ – допустимая величина пучения грунта (см. табл. 2);

$к_о$ – коэффициент, характеризующий особенности промерзания и пучения; его значение можно принимать равным 1,0 для условий сезонного промерзания и несливающейся мерзлоты и 0,7 для условий сливающейся мерзлоты;

$\int^р$ – расчетная интенсивность пучения грунтов, %

$$\int^р = к_п к_з \int_с . \qquad (9)$$

Здесь $к_п$ – коэффициент, учитывающий режим промерзания; его значения принимаются равными 1,0 и 0,8 соответственно для районов со среднезимней температурой воздуха выше минус 15 °С и ниже минус 15 °С;

$к_з$ – коэффициент, учитывающий влияние конструкции земляного полотна (табл. 5);

$\int_с$ – средняя интенсивность морозного пучения, % (табл. 6).

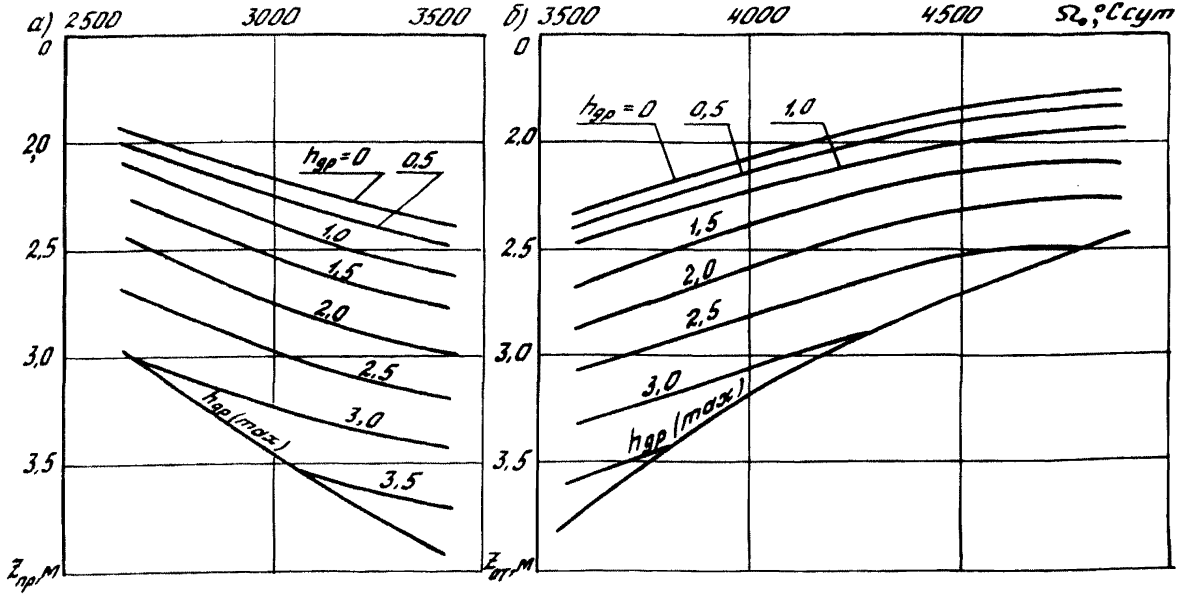


Рис. 3. Номограммы для определения глубины сезонного промерзания $z_{пр}$ (а) и сезонного оттаивания $z_{от}$ (б) грунта в зависимости от суммы градусо-суток отрицательной температуры наружного воздуха Ω_o и толщины слоя дренирующего грунта $h_{гр}$

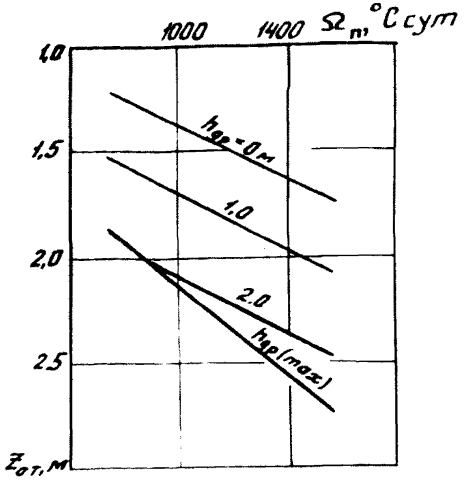


Рис. 4. Номограмма для определения глубины оттаивания грунта $Z_{от}$ в условиях сливающейся мерзлоты в северных районах страны в зависимости от суммы градусо-суток положительных температур воздуха $\Omega_п$ и толщины слоя дренирующего грунта на поверхности $h_{гр}$

Таблица 5

Величина K_3 для участков					
выемок, нулевых мест	насыпей высотой, м				
	<0,8	0,8–1,2	1,2–1,6	1,6–2,0	> 2,0
1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

При назначении по табл. 6 средней интенсивности пучения f_c в пределах выемок и на нулевых местах состояние естественного основания (сухое, сырое, мокрое) необходимо принимать с учетом прогнозируемого изменения режима поверхностных и грунтовых вод в результате разработок выемки и осуществления противодеформационных, в том числе водоотводных устройств.

5.15. Толщина подушки с использованием прогнозируемой глубины сезонного промерзания - оттаивания грунтов $z_{пр-от}$, устанавливаемой по номограммам рис. 3 и 4, определяется по формуле

$$h_п = 6z^{р}_{пр-от} - h_б - h_д , \qquad (10)$$

где $h_б$ - общая толщина балластного слоя (до верха шпалы);

$z^{р}_{пр-от}$ - расчетная глубина сезонного промерзания или оттаивания однослойного (дренирующего или пучинистого) грунта с учетом фактических величин его теплофизических характеристик, определяемая по формуле

$$z^{р}_{пр-от} = \kappa_б \alpha z_{пр-от} . \qquad (11)$$

Здесь $\kappa_б$ - коэффициент, характеризующий вид грунта; его значения принимаются по табл. 7;

α - коэффициент, учитывающий фактические величины теплофизических характеристик дренирующих грунтов; его значения находятся по формулам:

при определении глубины сезонного промерзания

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda_м}{Q}} ; \qquad (12)$$

при определении глубины сезонного оттаивания в условиях сливающейся мерзлоты

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda_т}{Q}} , \qquad (13)$$

где $\lambda_м$, $\lambda_т$ - фактические коэффициенты теплопроводности соответственно мерзлого и талого грунтов, ккал (м·ч·°С); их значения могут быть определены полевыми, лабораторными методами или по номограммам (справочное приложение 2);

Таблица 6

Грунты	Средняя интенсивность морозного пучения f_c, %				
	Естественные основания и основания выемок				Насыпи
	сухие[1]	сырые[2]	мокрые[3]		
	Влажность глинистых грунтов				
	От $W_p+0,1I_p$ до $W_p+0,25I_p$	От $W_p+0,25I_p$ до $W_p+0,50I_p$	От $W_p+0,50I_p$ до $W_p+0,75I_p$	Свыше $+0,75I_p$	От $W_p+0,25I_p$ до $W_p+0,50I_p$
Суглинки пылеватые, глины песчаные	5	II	I7	25	5
Супеси пылеватые, суглинки тяжелые, глины пылеватые	4	9	I5	22	4
Супеси легкие, глины жирные	2	7	I2	I7	3
Крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем более 50 %	2	5	8	I2	3
Крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем от 20 до 50 %	I	3	6	8	I
Пески пылеватые	I	3	7	-	I
Торфы	-	-	I2	-	-

[1] Поверхностный сток обеспечен, грунтовые воды отсутствуют или залегают ниже границы промерзания на глубине, большей, чем высота капиллярного поднятия.

[2] Условия для поверхностного стока плохие, грунтовые воды отсутствуют или залегают ниже границы промерзания в зоне капиллярного поднятия.

[3] Поверхностный сток отсутствует или не обеспечен, грунтовые воды залегают в пределах глубины промерзания.

W_p - влажность на границе раскатывания (предел пластичности);

I_p - число пластичности, определяемое по ГОСТ 5183-77.

Q – фактическая скрытая теплота плавления льда в грунте, ккал/м^3

$$Q = \gamma_{ск} \frac{W^р}{100} \iota 80 . \qquad (14)$$

Здесь ι – коэффициент, характеризующий количество замерзшей воды в грунте, принимается в соответствии с п.5.16;

$W^р$ – расчетная влажность грунта, принимается в соответствии с п.5.16.

Таблица 7

Вид грунта	Значения κ_δ для условий сезонного промерзания	
	несливающейся мерзлоты	сливающейся мерзлоты
Дренирующей	82	86
Пучинистый	123	140

Порядок расчета

Толщину подушки, назначаемую равной глубине промерзания – оттаивания, определяют по формуле (10), принимая $h_g = 0$; величину $z_{пр-от}$ определяют по известной сумме градусо-суток и кривой $h_{gр(max)}$ (см.рис. 3 и 4).

Толщину подушки, исходя из условия ограничения морозного пучения грунтов основания допустимой величиной (см. п.5.2), можно определять по формуле (10), выполняя расчет с последовательным приближением. При этом расчетную глубину промерзания – оттаивания земляного полотна $z^р_{пр-от}$ определяют в следующем порядке:

1. По известной сумме градусо-суток и кривой $h_{gр} = 0$ (см. рис.3 или 4) определяют глубину сезонного промерзания $z_{пр-от}$ однослойного пучинистого грунта (без дренирующей подушки).

2. По той же сумме градусо-суток и кривой, соответствующей $h_{gр}$ на номограмме (см.рис. 3 или 4), опреде-

ляют глубину сезонного промерзания двухслойного (дренирующего и пучинистого) грунта $z^{дп}_{пр-от}$, принимая в качестве $h_{др}$ общую толщину слоя дренирующих грунтов, равную

$$h_{др} = h'_{п} + h_{б} . \qquad (15)$$

Здесь $h'_{п}$ – минимальная толщина подушки, назначаемая согласно действующему нормативному документу, например СН 449-72 или по данным табл. 8.

Таблица 8

Пучинистые грунты земляного полотна	Минимальная толщина подушки из дренирующего грунта $h'_{п}$, м	
	на участках залегания грунтовых вод на глубине, равной или менее $z^{Р}_{пр}$ от подошвы балластной призмы	на участках залегания грунтовых вод на глубине от подошвы балластной призмы, превышающей $z^{Р}_{пр}$
Суглинки и глины	1,0	0,9
Супеси	0,8	0,7
Крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем при содержании частиц размером <0,1 мм, %:		
20-30	0,9	–
> 30	1,0	0,8

Примечание. Глубина промерзания $z^{Р}_{пр}$ определяется в соответствии с пп.5.8-5.17.

3. Расчетную глубину сезонного промерзания – оттаивания однослойного пучинистого $z^{Рп}_{пр-от}$ и дренирующего $z^{Рд}_{пр-от}$ грунтов с учетом фактических величин λ и Q определяют по формулам (11) – (14). При этом значения $\lambda_{м}$ и $\lambda_{т}$ принимают по номограммам (справоч-

ное приложение 2, рис. 1–4) в случае отсутствия данных, установленных полевыми или лабораторными методами.

4. Разность Δ между расчетной глубиной промерзания двухслойного и однослойного пучинистого грунтов определяют по формуле

$$\Delta = z^{дп}_{пр\text{-}от} - z^{п}_{пр\text{-}от} . \qquad (16)$$

Расчетную глубину промерзания – оттаивания двухслойного грунта определяют по формуле

$$z^{р}_{пр\text{-}от} = z^{рп} + \Delta \frac{z^{рд}_{пр\text{-}от} - z^{рп}_{пр\text{-}от}}{z^{д}_{пр\text{-}от} - z^{п}_{пр\text{-}от}} . \qquad (17)$$

5.16. Коэффициент, характеризующий количество замерзшей воды в грунте, можно принимать равным 1,0 для дренирующих грунтов, 0,9 для супеси и суглинка легкого, 0,8 для суглинка тяжелого и глин.

Расчетную влажность грунта $W^{р}$ для определения скрытой теплоты плавления льда Q рекомендуется принимать по наибольшей из величин W_{L}, установленной по данным инженерно-геологических изысканий в осенний период, согласно равенству

$$W^{р} = 0,8 W_{L} , \qquad (18)$$

где W_{L} – влажность на границе текучести.

Для крупнообломочных грунтов с глинистым заполнителем в качестве расчетной влажности $W^{р}_{см}$ следует использовать суммарную влажность всего крупнообломочного грунта (крупных фракций и мелкозема), устанавливаемую с учетом формул (3) – (18) по соотношению

$$W^{р}_{см} = 0,8 W_{L м} (1 - p) + W_{мм} p . \qquad (18')$$

5.17. Значения эффективного коэффициента теплопроводности крупнообломочных грунтов с глинистым заполнителем в талом и мерзлом состояниях можно принимать по но-

мограммам (см. справочное приложение 2, рис. 5 и 6) в зависимости от объемного содержания крупных (более 2 мм) частиц $к_{об}$ и коэффициента теплопроводности глинистого заполнителя λ (см.приложение 2, рис. 3 и 4), а также по формуле

$$к_{об} = \frac{V_к}{V_о} = \frac{к' \gamma_о}{\gamma_к}, \qquad (19)$$

где $V_к$ и $V_о$ – объемы соответственно крупных частиц и всего крупнообломочного грунта, $м^3$;

$\gamma_о$ – плотность скелета крупнообломочного грунта, $кг/м^3$;

$\gamma_к$ – плотность крупных частиц, $кг/м^3$;

$к'$ – относительное весовое содержание крупных частиц, определяемое по формуле

$$к' = \frac{P_к}{P_к + P_м}. \qquad (19')$$

Здесь $P_к$ и $P_м$ – соответственно масса крупных частиц и заполнителя, $кг/м^3$.

$$\gamma_о = \frac{1}{\frac{к'}{\gamma_к} + \frac{1 - к'}{\gamma_м}}, \qquad (20)$$

где $\gamma_м$ – плотность скелета сухого заполнителя, $кг/м^3$.

Значения коэффициента теплопроводности торфов и заторфованных грунтов рекомендуется определять по номограммам (см. справочное приложение 2, рис. 7 и 8) в зависимости от объемного содержания в них воды и воздуха. Объемное содержание воды в торфе $V_в$ находится из соотношения

$$V_в = \frac{W_т \gamma_т}{\gamma_в}, \qquad (21)$$

где $\gamma_т$ – плотность скелета торфа, кг/м^3;
$\gamma_в$ – плотность воды, равная 1000 кг/м^3;
$W_т$ – весовая влажность торфа в относительных единицах.

Объемное содержание воздуха в торфе $V_{в3}$ определяется по формуле

$$V_{в3} = 1 - (V_в + \frac{\gamma_т}{\gamma_{то}}) , \qquad (22)$$

где $V_в$ – объем воды, доли единицы;
$\gamma_{то}$ – плотность торфа, принимается равной 1500 кг/м^3.

5.18. Минимальную высоту насыпей на участках с пучинистыми грунтами основания, в том числе на подходах к мостам и трубам, следует назначать не менее величины $h_п$, определяемой по формулам (7) или (10).

5.19. На подходах к выемкам, водопропускным сооружениям, в местах пересечения отдельных бугров, где исключается возможность соблюдения условия п.5.18, необходимо предусматривать замену пучинистых грунтов основания дренирующими на глубину $h_в$ (рис. 5), определяемую по формуле

$$h_в = h_п - H_{пр} , \qquad (23)$$

где $H_{пр}$ – высота насыпи по продольному профилю.

При вырезке пучинистых грунтов и замене их дренирующими следует устраивать плавные концевые сопряжения поверхности указанных грунтов в соответствии с рис. 6.

Основные требования к противодеформационным конструкциям из дренирующего грунта

5.20. Толщину слоя дренирующего грунта следует принимать равной большей из двух величин $h_п$, установленных расчетами по условиям обеспечения несущей способности пучинистых грунтов основания (пп.5.3–5.7) и до-

пустимой величины пучения грунта основания (пп.5.8-5.17), но не менее величин, приведенных в табл. 8.

5.21. На участках земляного полотна с чередующимися по длине пути пучинистыми и непучинистыми грунтами устройство подушки из дренирующего грунта в верхней части зоны сезонного промерзания на пучинистых грунтах рекомендуется предусматривать в том случае, если пучинистые грунты залегают на длине не менее $L + 2\ell_c$, где L - длина участка, в пределах которого намечается устройство дренирующей подушки; ℓ_c - длина участка продольного сопряжения (см. рис. 6). При этом необходимо учитывать, что наименьшая протяженность L зависит от перспективной скорости движения поездов V. Так, при $V \leq 100$ км/ч $L = 20$ м; при $V > 100$ км/ч $L = 25$ м. Если это условие выполнить невозможно, то необходимо увеличить высоту насыпи или предусмотреть замену пучинистого грунта основания дренирующим на глубину, устанавливаемую по формуле (23).

Длина участков продольного сопряжения определяется из зависимости

$$\ell_c = \frac{h_{доп}}{i_{доп}}, \qquad (24)$$

где $h_{доп}$ - допустимая величина пучения грунта основания, м (см. п.5.2);

$i_{доп}$ - допустимый, дополнительно к существующему, продольный уклон головки рельсов в зависимости от скорости движения поездов; при $V \leq 100$ км/ч $i_{доп} = 0,001$; при $V > 100$ км/ч $i_{доп} = 0,0005$.

5.22. При возведении насыпей из разнородных грунтов в пределах глубины сезонного промерзания не допускаются очаговое размещение и укладка слоев пучинистых грунтов переменной толщины в продольном и поперечном сечениях насыпи. Слои пучинистых грунтов необходимо сопрягать со слоями непучинистых грунтов на длине, определяемой по формуле (24).

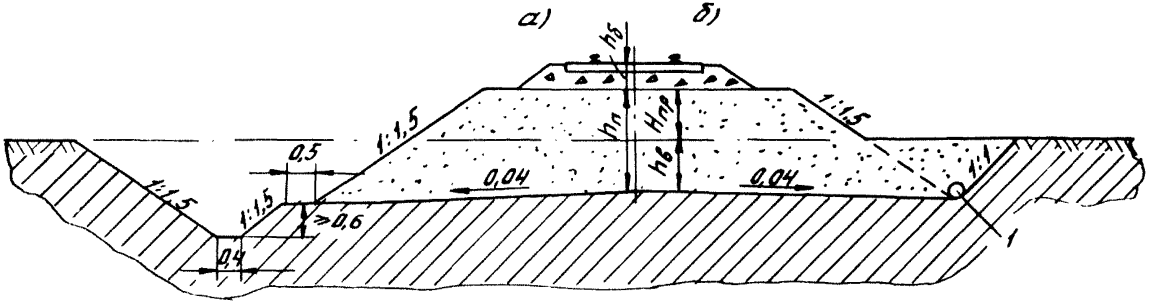


Рис. 5. Схема устройства подушки из дренирующего грунта с заменой пучинистого грунта в основании низкой насыпи:

а - на непросадочном основании; б - на просадочном основании; 1 - дренажная труба; $H_{пр}$ - высота насыпи по продольному профилю; $h_в$ - толщина слоя замены пучинистого грунта

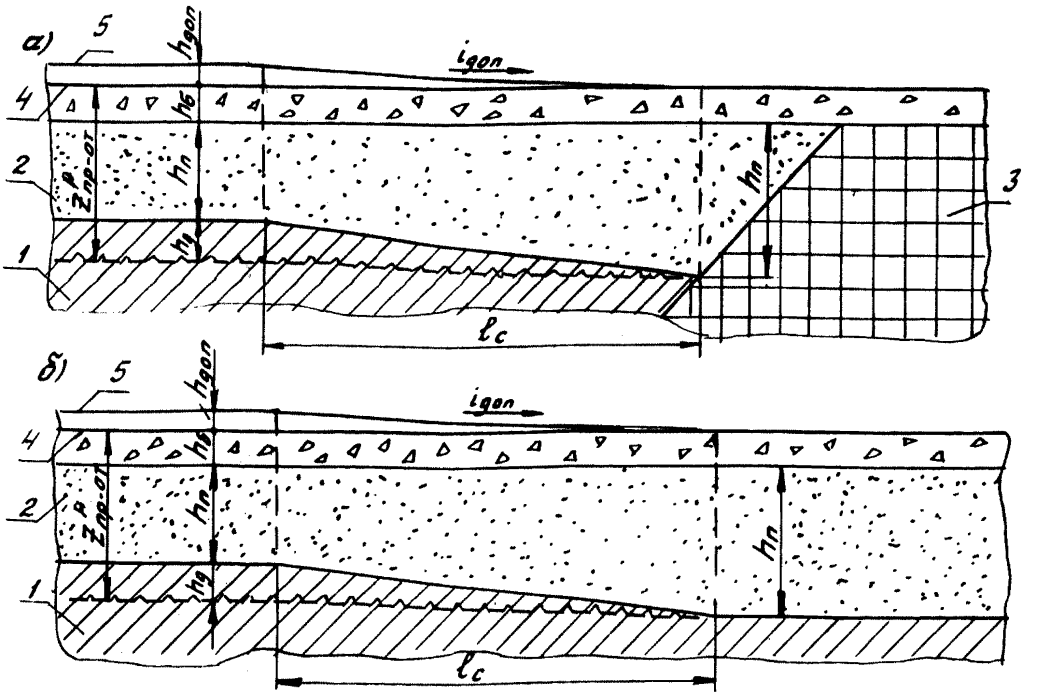


Рис. 6. Схемы продольного сопряжения слоя дренирующего грунта, размещаемого в верхней части зоны промерзания – оттаивания:

а – со скальными грунтами основания; б – со слоем дренирующего грунта толщиной $h_п$, равной глубине его промерзания – оттаивания; 1 – пучинистый грунт; 2 – дренирующий грунт; 3 – скальный грунт; 4 – положение пути летом; 5 – положение пути зимой; значения $h_п$, $h_б$, $h_г$, $h_{гол}$, $z^р_{пр-от}$, $i_{гол}$, приведены в пояснениях к формулам (7), (10), (24), в табл. 2 п. 5.21

5.23. Толщину слоя дренирующего грунта на подходах к мостам следует определять расчетом из условия обеспечения плавного изменения продольного уклона пути в пределах переходных участков земляного полотна согласно рекомендациям п.5.21 (рис. 7).

При этом необходимо предусматривать планировку основания в продольном направлении на длине не менее 5 м с уклоном не менее 0,04 в сторону от устоя моста (см. рис. 7).

5.24. На подходах к водопропускным трубам рекомендуется проектировать насыпи с учетом следующих положений:

если основание трубы сложено пучинистыми грунтами, то высоту насыпи следует назначать не менее величины, определяемой в соответствии с п.5.18;

если насыпь высотой до 6 м предусмотрено возводить из пучинистых грунтов, то на участке размещения трубы на протяжении L_1 (см. п.5.21) для насыпи над трубой и на прилегающих участках целесообразно применить дренирующий грунт с обязательным устройством продольных сопряжений (рис. 8), длину которых можно определить по формуле (24).

5.25. На участках пересечения земляного полотна из пучинистых грунтов трубопроводами следует учитывать положения "Методических указаний по предупреждению возникновения пучин в местах пересечения земляного полотна трубопроводами" (М., Транспорт, 1974), в том числе: толщину подушки из дренирующего грунта на участках пересечения необходимо назначать равной глубине сезонного промерзания; протяженность участка с подушкой такой толщины требуется принимать не менее величин, указанных в табл. 9.

По обоим концам подушки из дренирующего грунта необходимо устраивать сопряжения (см. рис. 6, б), определяя их длину по формуле (24).

5.26. На пучиноопасных участках в пределах выемок и нулевых мест необходимо предусматривать надежный отвод поверхностной воды, а также понижение уровня грунтовых вод. В качестве основных водоотводных устройств следует

применять:

кюветы или лотки с продольным уклоном не менее 0,004;

каптажные и дренажные системы.

Таблица 9

Глубина расположения трубопровода от верха балластной призмы до верха защитного кожуха, м	Протяженность участков с подушкой из дренирующего грунта, м, при температуре воздуха в защитном кожухе, °С		
	10	20	30
1,5	20-25	30	50
2	20-25	40	60
3	25	60	75
4	30	70	90
5	35	80	100

При замене пучинистого грунта на таких участках рекомендуется уширять мелкие выемки (рис. 9), применять в глубоких выемках, в том числе на крутых косогорах, лотки специальной конструкции или дренажи (рис. 10, 11). Проектное решение следует принимать с учетом местных мерзлотно-грунтовых условий, результатов соответствующих теплофизических, технико-экономических расчетов. Крутизну и способ укрепления откосов рекомендуется назначать по результатам расчетов на устойчивость с учетом состояния и свойств грунта в естественных условиях и после разработки выемки. Для обеспечения устойчивости откосов выемок в глинистых и других нескальных льдонасыщенных грунтах можно предусматривать покрытие откосов крупнообломочными или песчаными грунтами (см. рис. 11).

5.27. В случаях, когда под основной площадкой выемок локально залегают неоднородные, в том числе пучинистые, грунты, целесообразно предусматривать местную вырезку и замену грунтов с устройством плавных концевых сопряжений (см.рис.6), а при наличии водоносной песчаной линзы требуется предусматривать устройство дренажа для перехвата и отвода воды.

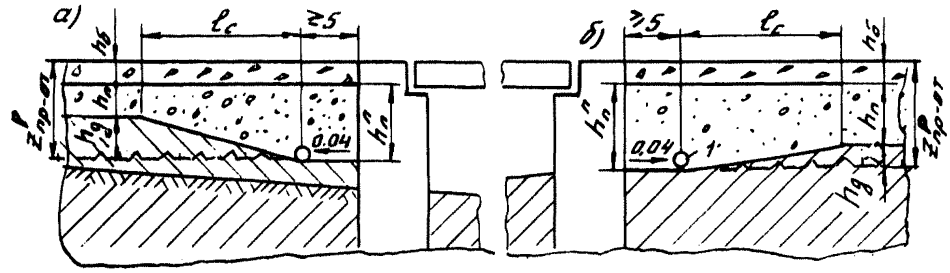


Рис. 7. Схема устройства сопряжений насыпи с устоем моста:
1 – поперечный дренаж

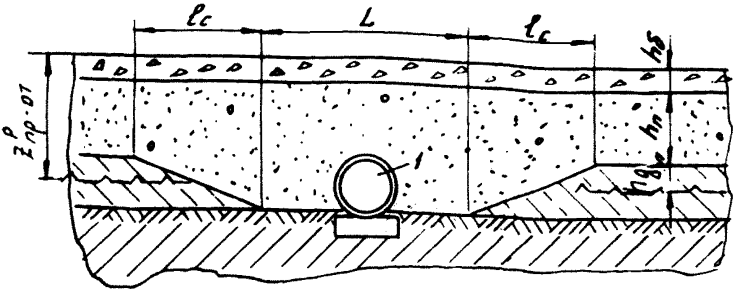


Рис. 8. Схема устройства сопряжений насыпи из пучинистых грунтов на участке водопропускной трубы 1 при высоте насыпи менее 6 м

5.28. В пределах концевых участков выемки, сложенных глинистыми или пучинистыми крупнообломочными грунтами с глинистым заполнителем, а также низких насыпей на подходах к выемкам, следует предусматривать вырезку пучинистых грунтов основания (рис. 12). Длину участка сопряжения выемки с насыпью в этом случае можно определять по формуле (24).

5.29. Основную площадку выемок в скальных легковыветривающихся породах (аргиллитах, алевролитах, сланцах и др.), переходящих в результате выветривания в глинистые грунты, следует проектировать с заменой этих пород, учитывая их свойства после выветривания. При этом толщину зоны выветривания рекомендуется принимать равной 0,75 глубины сезонного промерзания от верха балластной призмы.

5.30. Полувыемки-полунасыпи в пучиноопасных грунтах, создающих особо резкую неоднородность мерзлотно-грунтовых условий по поперечному сечению, проектировать не рекомендуется. Более целесообразными в таких случаях являются выемки с заменой пучинистых грунтов основания дренирующими (рис. 13).

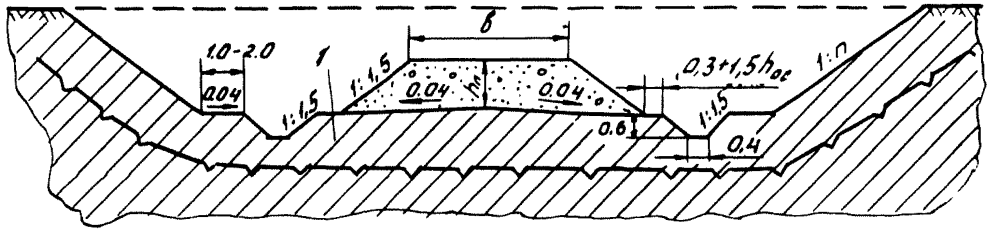


Рис. 8. Схема мелкой выемки в пучинистых грунтах с разработкой ее под насыпь:

h_{oc} - расчетная величина осадки вечномерзлого грунта основания при формировании деятельного слоя 1

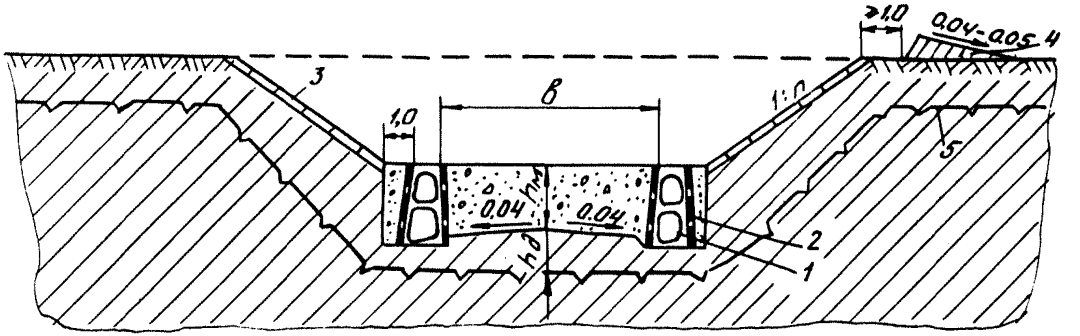


Рис. 10. Схема глубокой выемки в пучинистых грунтах:
1 - железобетонная рама лотка; 2 - железобетонные плиты с отверстиями; 3 - укрепление откосов; 4 - банкет из местного грунта; 5 - поверхность вечномерзлого грунта

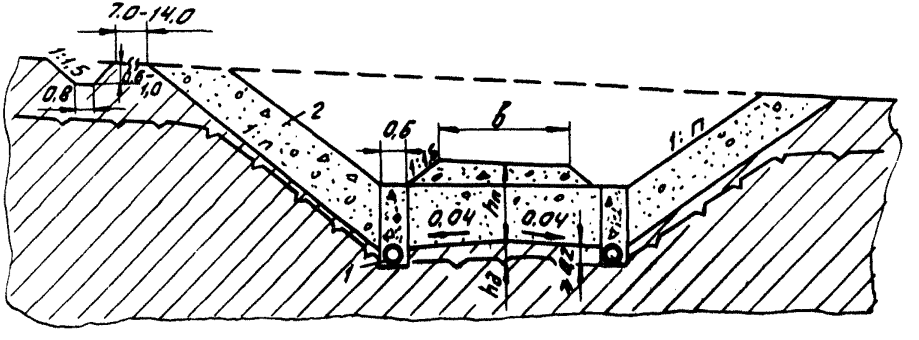


Рис. 11. Схема выемки в льдонасыщенных вечномерзлых грунтах:
1 – дренажные трубы; 2– крупнообломочный грунт или песок

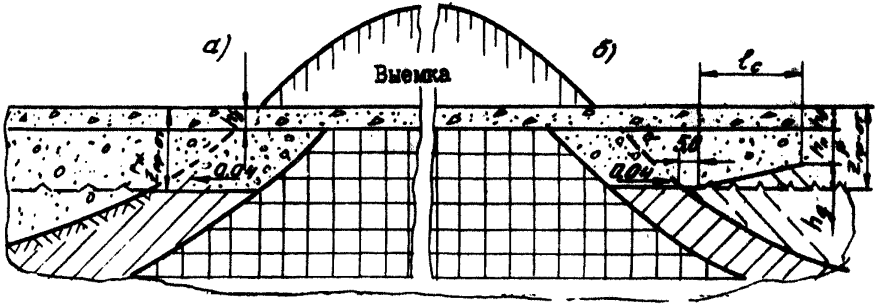


Рис. 12. Схема замены дренирующим грунтом пучинистых грунтов основания в пределах концевых участков выемок в непучинистых грунтах:
а – примыкающая насыпь из дренирующих грунтов; б – примыкающая насыпь из глинистого грунта

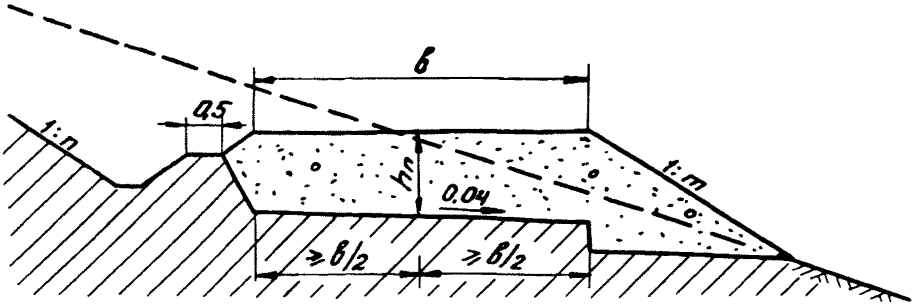


Рис. 13. Схема полувыемки в пределах косогора с заменой пучинистых грунтов основания

5.31. Насыпи на косогорах, сложенных пучинистыми грунтами, следует проектировать высотой не менее величин, определяемых в соответствии с положениями п.5.18 или предусматривать замену пучинистых грунтов основания дренирующими (рис. 14) на глубину, определяемую по формуле (23).

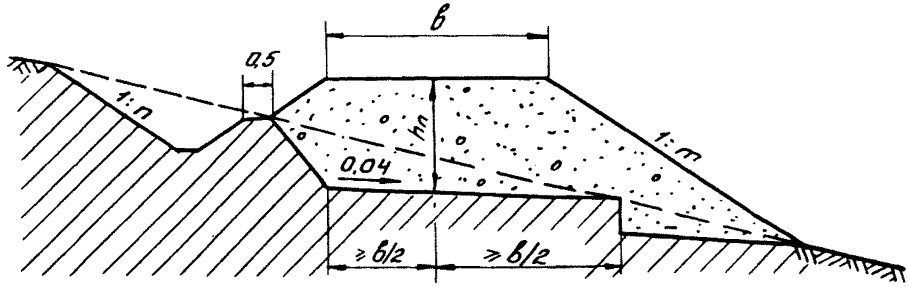


Рис. 14. Схема насыпи на косогорном пучиноопасном участке

5.32. Для предотвращения возникновения наледных пучин следует предусматривать применение устройств по перехвату и отводу грунтовой воды, в том числе, дренаж, лотки, канавы, располагая их преимущественно на подходах к земляному полотну с учетом мерзлотно-грунтовых, гидрогеологических и других местных природных условий.

6. ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

6.1. Для тепловой изоляции земляного полотна рекомендуется использовать полистирольные или поливинилхлоридные пенопласты, имеющие следующие характеристики:

Плотность, кг/м^3	50
Коэффициент теплопроводности, Ккал/(м·ч·$^\circ$С)	0,04
Предел прочности при 10 %-ной деформации сжатия, 10^5·Па (кгс/см^2)	2,5
Водопоглощение по объему за 24 ч, %	3

Применение пенопластов, имеющих водопоглощение по объему за 24 ч от 1 до 3 % не допускается при залегании грунтовых вод на глубине 1 м и менее от верха балластной призмы.

6.2. Пенопласты целесообразно применять в случаях, когда другие противопучинные мероприятия оказываются технически не осуществимыми или экономически нецелесообразными, в том числе: на коротких по протяжению участках с залеганием пучинистых или вечномерзлых просадочных при оттаивании грунтов, при большой глубине промерзания грунтов в случае невозможности отвода воды из траншеи вырезки, предназначенной для заполнения дренирующим материалом, в местах залегания на незначительной глубине подземного льда.

6.3. Расчетную толщину слоя пенопласта можно определять по графикам рис. 15. Если расчетная толщина слоя тепловой изоляции окажется больше толщины одной стандартной плиты пенопласта, следует применять двух- или трехслойное покрытие.

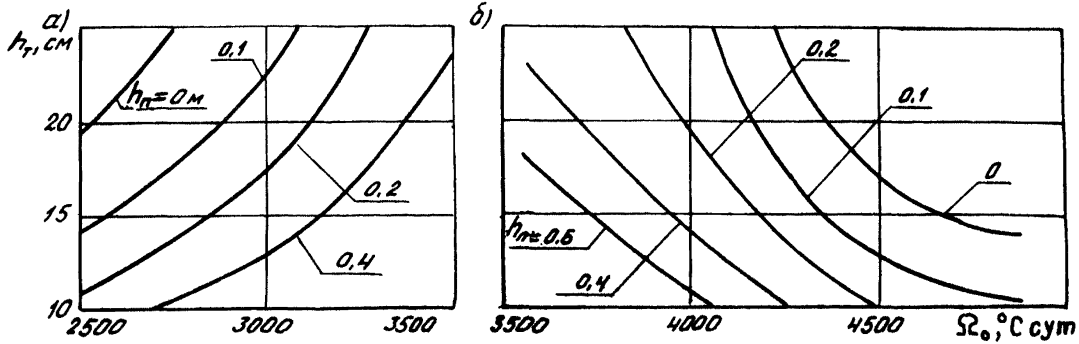


Рис. 15. Графики для определения расчетной толщины $h_т$ теплоизоляционного слоя в зависимости от суммы градусо-суток отрицательных температур воздуха Ω_0 и толщины дренирующей подушки $h_п$, м:

а – для условий сезонного промерзания и несливающейся мерзлоты; б – для условий сливающейся мерзлоты

6.4. Теплоизоляционный слой следует размещать на глубине не менее 0,5 м от верха балластной призмы и предусматривать проектом:

покрытие плит с целью их защиты от механического повреждения слоем песка толщиной не менее 10 см (рис. 16);

укладку плит на подушку из песчаного или галечно-гравийного материалов толщиной не менее 5 см, учитывая, что с возрастанием толщины подушки уменьшается расход пенопласта (см.рис.15);

укладку плит пенопласта при двух- трехслойном покрытии с перекрытием швов нижнего слоя на 10-15 см и более плитами верхнего слоя.

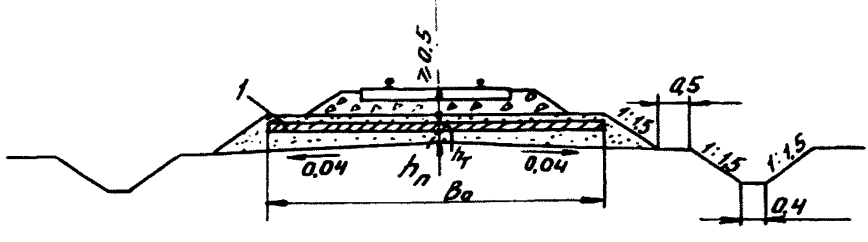


Рис. 16. Схема размещения тепловой изоляции в поперечном сечении земляного полотна:
1 - слой тепловой изоляции

6.5. Минимальная ширина теплоизоляционного покрытия под одним путем должна составлять 5,5 м для районов сезонного промерзания и 6,0 м для районов вечной мерзлоты. При устройстве тепловой изоляции в пределах стрелочных переводов ширина покрытия должна быть переменной, превышающей длину переводных брусьев на 1,4 - 1,6 м с каждой стороны перевода.

6.6. Минимальную протяженность в продольном направлении участков пути с теплоизоляцией следует принимать

равной 20 м при максимальной скорости движения поездов, равной 100 км/ч и 25 м – при большей скорости.

6.7. Продольное сопряжение участков пути, в пределах которых применена теплоизоляция из пенопластов, с соседними участками без теплоизоляции следует осуществлять посредством постепенного уменьшения ширины теплоизоляционного слоя без изменения его толщины. При этом участок сопряжения разбивают на блоки B_1 – B_i длиной 5 м каждый (рис. 17), а ширину блоков рекомендуется принимать по данным табл. 10.

Таблица 10

Номера блоков B_1–B_i	Ширина блоков B, м, для районов			
	сезонного промерзания		вечной мерзлоты	
	при допустимой величине пучения грунта на прилегающих участках $h_{доп}$, мм			
	<20	20–35	<20	20–35
1	4,8	5,1	5,3	5,6
2	3,4	4,5	3,8	4,9
3	2,1	3,8	2,3	4,1
4	0,7	3,1	0,8	3,8
5	–	2,4	–	2,6
6	–	1,7	–	1,9
7	–	1,0	–	1,1
8	–	0,4	–	0,4

7. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ ПОДУШКИ

Пример 1. Пучиноопасный участок расположен в районе со сливающейся вечной мерзлотой на нулевом месте. Основание земляного полотна сложено супесями со средней влажностью порядка $W_p + 0,25 I_p$ и среднезернистыми песками, интенсивность их пучения 4 %. Проектом земляного полотна предусмотрены: толщина балластной призмы из щебня, равная 0,5 м, установленная

скорость движения поездов 80 км/ч, допустимая величина пучения 25 мм. На участке эксплуатируемого земляного полотна, расположенном в аналогичных природно-климатических условиях, принимаемого за участок - аналог, при мерзлотно-грунтовом обследовании установлена мощность деятельного (ежегодно промерзающего - оттаивающего) слоя по оси пути, равная 2,6 м. Она состоит из балласта щебеночного $h_б$ = 0,5 м, песка $h_д$ = 0,5 м и супеси пылеватой $h_г$ = 1,6 м. По данным метеостанции, ближайшей к участку земляного полотна - аналогу, сумма положительной температуры воздуха за теплый период года, в конце которого измерена глубина сезонного оттаивания по оси существующего пути на аналоговом участке составляет ΣT = 1700 градусо-суток, а в наиболее теплое лето за прошедшие 10 лет - ΣT_{10} = = 1800 градусо-суток.

Требуется определить толщину подушки из дренирующего материала для вариантов полной и частичной замены пучинистого грунта основания в пределах деятельного слоя.

Р е ш е н и е . 1. По формуле (6) с учетом числовых значений расчетных параметров согласно заданным условиям определим эквивалентную глубину оттаивания эталонного однородного грунта - суглинка

$$z_э = \left(\frac{h_б}{k_б} + \frac{h_д}{k_д} + \frac{h_г}{k_г}\right)\sqrt{\frac{\Sigma T_{10}}{\Sigma T}} = \left(\frac{0,5}{1,3} + \frac{0,5}{1,3} + \frac{1,6}{1,2}\right)\sqrt{\frac{1800}{1700}} = 2,2 \text{м}.$$

2. В случае полной замены пучинистого грунта деятельного слоя толщину подушки из дренирующего грунта определим по формуле (7) при толщине слоя сезонного промерзания пучинистого грунта в основании подушки h_g = 0 и значениях коэффициентов $k_д$ = $k_б$ = 1,3 (по табл. 4):

$$h_п = k_д\left(z_э - \frac{h_б}{k_б}\right) = 1,3\left(2,2 - \frac{0,5}{1,3}\right) \approx 2,4 \text{ м}.$$

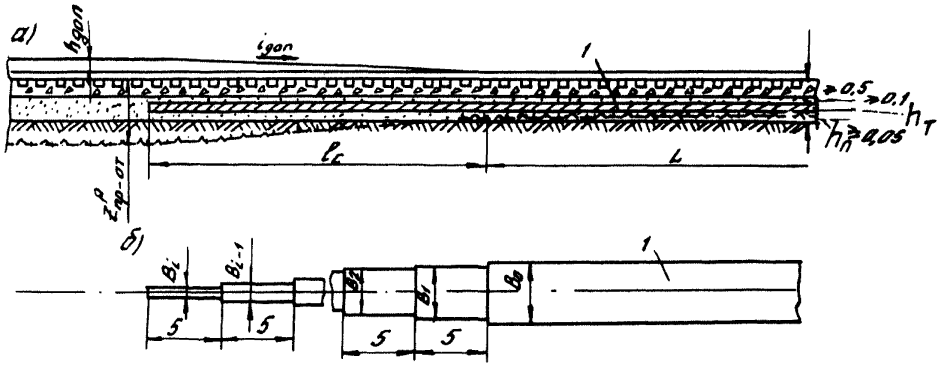


Рис. 17. Схема размещения тепловой изоляции 1 на участке сопряжения: а – продольный разрез; б – план

3. В случае частичной замены пучинистого грунта для определения толщины подушки из дренирующего грунта устанавливаем допустимую толщину слоя промерзающего пучинистого грунта основания $h_э$ – по формулам (8) и (9) с учетом значений расчетных коэффициентов в соответствии с исходными данными и данных табл. 4

$$h_э = \frac{h_{эоп}}{K_о K_п K_з f_c} = \frac{0{,}025}{0{,}7 \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}04} = 1{,}1 \text{ м}.$$

Толщину подушки из дренирующего грунта определяем по формуле (7). С учетом $h_э$ = 1,1 м и числовых значений других расчетных коэффициентов согласно заданным условиям она будет равна

$$h_п = K_д \left(z_э - \frac{h_б}{K_б} - \frac{h_э}{K_т}\right) = 1{,}3\left(2{,}2 - \frac{0{,}5}{1{,}3} - \frac{1{,}1}{1{,}2}\right) = 1{,}2 \text{ м}.$$

П р и м е р 2. Пучиноопасный участок представляет собой выемку глубиной до 1 м, сложенную разнородными грунтами (песком, суглинком, скальным грунтом). Район расположения участка характеризуется сливающейся мерзлотой. Многолетняя средняя сумма отрицательной температуры воздуха равна 4500 градусо-суток.

Пучинистый грунт основания – суглинок, по данным обследования, имеет: $\gamma_{ск}$ = 1600 кг/м^3; W_e = 25 %; W_p = 18 %; W_L = 32 %, $\lambda_т$ = 1,5 ккал/(м·ч·°С), i = 0,8. В качестве дренирующего материала для замены можно использовать песок, имеющий: $\gamma_{ск}$ = 1800 кг/м^3; W_e = 8 %; $\lambda_т$ = 1,8 ккал/(м·ч·°С).

По проекту толщина балластного слоя от верха балластной призмы $h_б$ = 0,5 м, установленная скорость движения поездов 80 км/ч.

Требуется определить толщину подушки из дренирующего грунта для двух вариантов: с заменой пучинистого грунта на всю мощность деятельного слоя и из условия ограничения пучения допустимой величиной.

Р е ш е н и е. 1. Находим фактическую скрытую теплоту плавления льда по формуле (14) в дренирующем материале – песке с учетом числовых значений исходных данных

$$Q = 1800\frac{8}{100} \cdot 1 \cdot 80 = 11500 \text{ ккал/м}^3.$$

2. На номограмме рис. 3, б настоящих Методических рекомендаций по кривой $h_{гр(max)}$ при Ω_o = = 4500 °С·сутки находим максимальную прогнозируемую глубину сезонного оттаивания дренирующего грунта $z_{от} = 2,7$ м. Определяем расчетную глубину оттаивания с учетом фактических величин теплофизических характеристик песка согласно зависимостям (11) и (13)

$$z_{от}^{р} = 86\sqrt{\frac{1,8}{11500}} \cdot 2,7 = 2,9 \text{ м}.$$

3. Для первого варианта проектного решения необходимую толщину подушки из дренирующего грунта определяем по формуле (10) с использованием исходных и расчетных данных при $h_г = 0$

$$h_п = 1 \cdot 2,9 - 0,5 = 2,4 \text{ м}.$$

4. Для определения толщины подушки из дренирующего грунта при частичной замене пучинистых грунтов основания:

а) Находим фактическую скрытую теплоту плавления льда в суглинке по формуле (14) с учетом п.5.16

$$Q = 1600\frac{0,8 \cdot 32}{100} \cdot 0,8 \cdot 80 = 26200 \text{ ккал/м}^3.$$

б) Определяем прогнозируемую глубину сезонного оттаивания однослойного пучинистого грунта по кривой $h_{гр} = 0$ на номограмме рис. 3, б настоящих Методических рекомендаций при $\Omega_o = 4500$ °С·сутки. Она составляет $z_{от}^{п} = 1,8$ м.

С учетом фактических величин теплофизических характеристик суглинка расчетная глубина сезонного оттаивания пучинистого грунта согласно зависимостям(11) и (14) при $Q = 26200$

$$z_{от}^{рп} = 140 \cdot \sqrt{\frac{1,5}{26200}} \cdot 1,8 = 1,9 \text{ м}.$$

в) На основании исходных данных принимаем: по табл. 6 интенсивность морозного пучения равной 7 %, по табл. 2 допустимую величину пучения $h_{доп}$ = 25 мм при V = 80 км/ч.

Используя указанные величины и принимая среднюю интенсивность морозного пучения, равную 9 % (см.табл. 6), определяем допустимую толщину слоя сезонно-оттаивающего пучинистого грунта в основании подушки согласно формулам (8) и (9)

$$h_{э} = \frac{0,025}{0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,09} = 0,5 \text{ м}.$$

г) Толщину подушки из дренирующего грунта, ниже которой пучинистый грунт будет промерзать на величину 0,5 м, находим последовательным приближением. Определяем по формуле (15) суммарную толщину дренирующего материала, принимая, согласно СН 449-72, табл. 20, толщину подушки, равную минимальной толщине $h'_{п}$ = = 0,5 м

$$h_{эр} = 0,5 + 0,5 = 1,0 \text{ м}.$$

д) По номограмме рис. 3, б настоящих Методических рекомендаций при $h_{эр}$ = 1,0 м находим по интерполяции глубину оттаивания двухслойной толщи (дренирующий и пучинистый грунт), $z^{дп}_{от}$ = 2,0 м.

е) Определяем по формуле (16) разность глубин промерзания дренирующего и пучинистого грунтов Δ = = $z^{дп}_{от} - z^{п}_{от}$ = 2,0 - 1,8 = 0,2 м.

ж) Определяем расчетную глубину промерзания двухслойного основания с учетом полученных выше значений по формуле (17)

$$z^{р}_{от} = 1,9 + 0,2 \frac{2,9 - 1,9}{2,7 - 1,8} = 2,1 \text{ м}.$$

з) По формуле (10) при β = 0,95 (см.п.5.13) определяем толщину подушки из дренирующего грунта

$$h_{п} = 0,95 \cdot 2,1 - 0,5 - 0,5 = 1,0 \text{ м}.$$

Полученная величина подушки не равна предварительно принятой $h_п = 0,5$ м.

Повторяем расчет в последовательности, указанной в пунктах "г", "д", "е", "ж", "з", назначая толщину подушки минимальной согласно табл. 8 настоящих Методических рекомендаций и исходным условиям по заданию, равной $h'_п = 0,9$ м:

$$h_{др} = 0,9 + 0,5 = 1,4 \text{ м};$$

$$z^{дп}_{от} = 2,1 \text{ м};$$

$$\Delta = 2,1 - 1,8 = 0,3 \text{ м};$$

$$z^{р}_{от} = 1,9 + 0,3\,\frac{2,9 - 1,9}{2,7 - 1,8} = 2,23 \text{ м}.$$

Определяем толщину подушки из дренирующего грунта

$$h_п = 0,95 \cdot 2,23 - 0,5 - 0,5 = 1,23 \text{ м}.$$

Полученная величина также не равна принятой предварительно $h'_п = 0,9$ м. Повторяем расчет еще раз в той же последовательности, принимая $h'_п = 1,2$ м:

$$h_{др} = 1,2 + 0,5 = 1,7 \text{ м};$$

$$z^{дп}_{от} = 2,2 \text{ м};$$

$$\Delta = 2,2 - 1,8 = 0,4 \text{ м};$$

$$z^{р}_{от} = 1,9 + 0,4\,\frac{2,9 - 1,9}{2,7 - 1,8} = 2,35 \text{ м}.$$

Определяем толщину подушки из дренирующего грунта

$$h_п = 0,95 \cdot 2,35 - 0,5 - 0,5 = 1,2 \text{ м}.$$

Полученная величина примерно равна принятой. Ее можно учесть при выборе инженерного решения и разработке индивидуального проекта земляного полотна в заданных условиях.

П р и м е р 3. При исходных данных, приведенных в примерах 1 и 2, требуется определить толщину подушки из дренирующего грунта по условию обеспечения несущей способности грунтов основания. Расчетные величины влажности и прочностных характеристик пучинистых грунтов

основания приведены в п.5.5 основного текста настоящих Методических рекомендаций (варианты 1 и 2).

Р е ш е н и е . Результаты решений приведены на графике рис. 2 и сведены в табл. 11.

Т а б л и ц а 11

№ варианта	Исходные расчетные данные			Толщина подушки по графику (см.рис.2) $h_п$, м
	характеристики грунтов основания	вагоны	нагрузка на ось, т	
1	$W^р$ = 29 % c = 0,05 кгс/см^2 (10^5 Па) φ = 14°	четырехосные	22	1,18
		восьмиосные	22	1,70
2	$W^р$ = 25 % c = 0,10 кгс/см^2 (10^5 Па) φ = 18°	четырехосные	22	0,6
		восьмиосные	22	0,9

Инженерные решения

Результаты выполненных расчетов (см.примеры 1-3), сведенные в табл. 12, показывают, что подушки из дренирующего грунта можно назначать различной толщины.

Большое различие в полученных величинах не позволяет принять однозначное решение по назначению толщины подушки. В связи с этим необходимо учесть дополнительные условия и ограничения, обоснованные, например, технико-экономическими соображениями или расчетами. При этом назначение подушки толщиной 2,4 м может быть целесообразным для дорог с высокоскоростным движением поездов при возможности обеспечения надежного от-

вода воды из траншеи вырезки по условиям рельефа местности[1].

Таблица 12

№ варианта	Поезда из вагонов	Толщина подушки $h_п$, м по условиям		
		полного исключения пучин	ограничения пучения	обеспечения несущей способности грунтов основания подушки
1	четырехосных	2,4	1,2	1,18
	восьмиосных			1,70
2	четырехосных	2,4	1,2	0,6
	восьмиосных			0,9

Для первого варианта достаточно обоснованной представляется толщина подушки, установленная по условию обеспечения несущей способности основания, равная 1,2 и 1,7 м в зависимости от вида вагонов, принятых по заданию для проектируемой дороги.

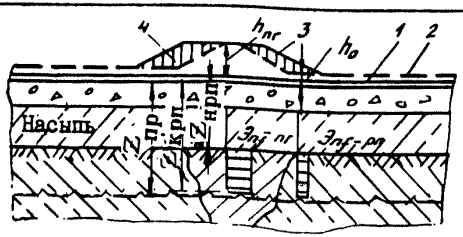
Для второго варианта требуется принять подушку толщиной 1,2 м, полученной по условию ограничения пучения заданной величиной (см.пример 2).

---

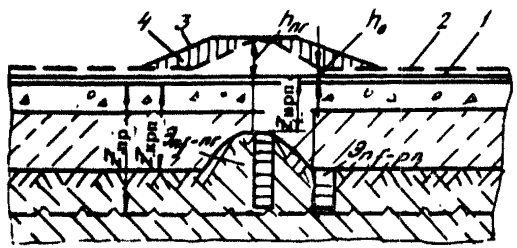
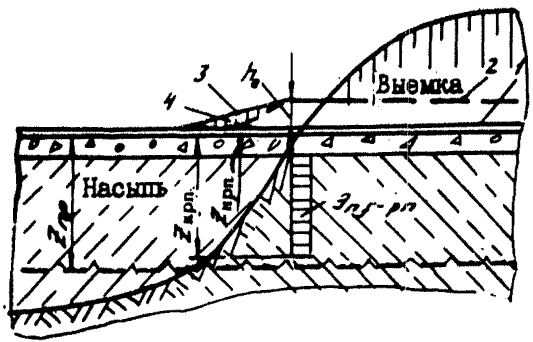
1 В случае невозможности выполнения этого условия, а также в других случаях, перечисленных в п.6.2 настоящих Методических рекомендаций, необходимо применить тепловую изоляцию из пенопласта согласно пп.6.3-6.7. В рассматриваемых примерах толщину слоя теплоизоляции можно принять равной 13 см при $h_п$ = 0,1 м (см.рис. 15).

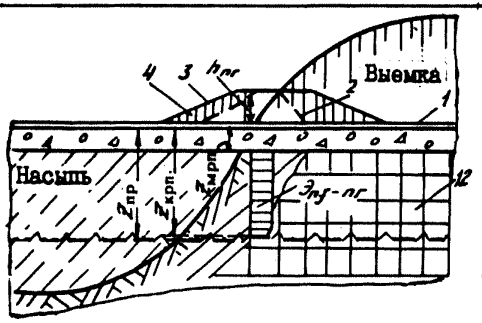
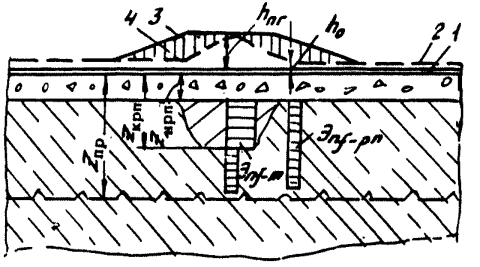
Приложение 1
Справочное

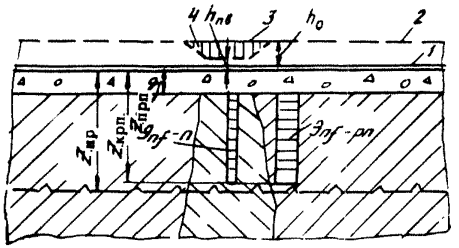
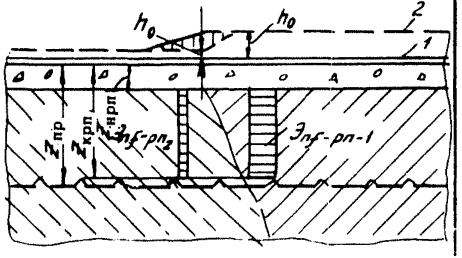
СХЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ [1]

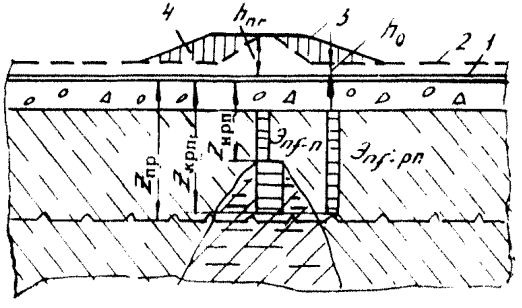
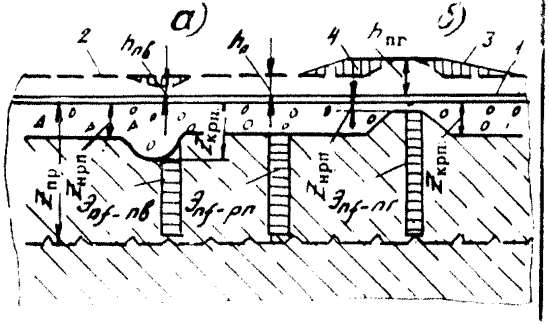
№ п/п	Продольный разрез	Вид пучины	Основная причина образования пучины
1	2	3	4
1		Горб	Неоднородность грунтов основания низкой насыпи (линзовидное залегание сильнопучинистого грунта) или неравномерное увлажнение грунтов

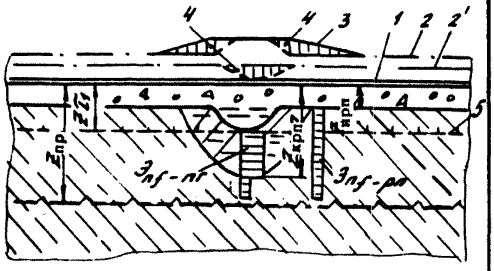
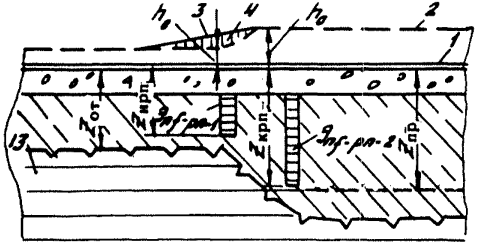
[1] Условные обозначения к рисункам приложения 1 даны на стр.66.

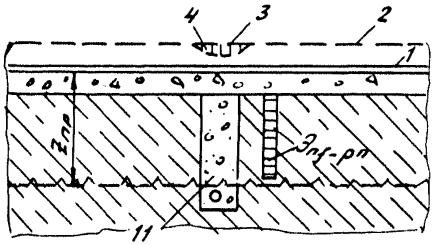
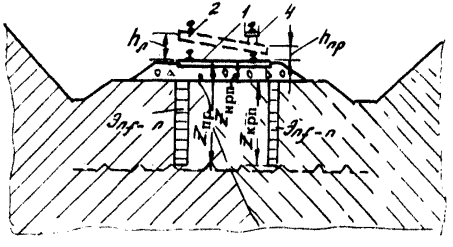
1	2	3	4
2		Горб	Неровность основания насыпи или основания дренирующей подушки на насыпи или в выемке
3		Перепад	Неоднородность грунтов вследствие резкого перехода между насыпью и выемкой

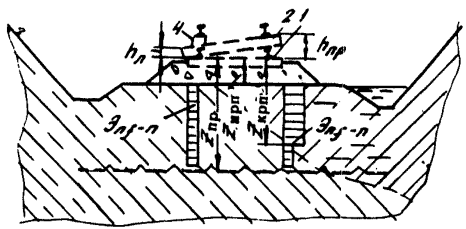
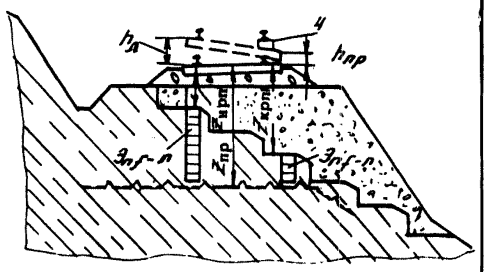
1	2	3	4
4		Горб	Резкая неоднородность грунтов, залегание сильнопучинистого грунта на концевом участке скальной выемки
5		– " –	Неоднородность грунтов, залегание линзы сильнопучинистого грунта в выемке или на нулевом месте

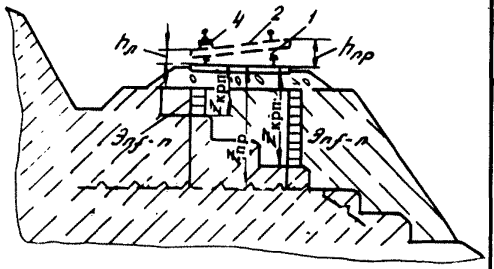
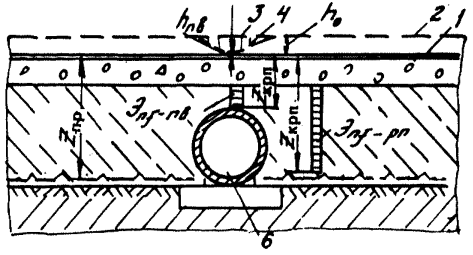
1	2	3	4
6		Впадина	Неоднородность грунтов; залегание линзы слабопучинистого или непучинистого грунта среди сильнопучинистых
7		Перепад	Крутое сопряжение разнородных грунтов, лучащихся с разной интенсивностью

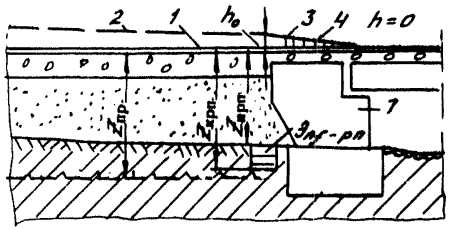
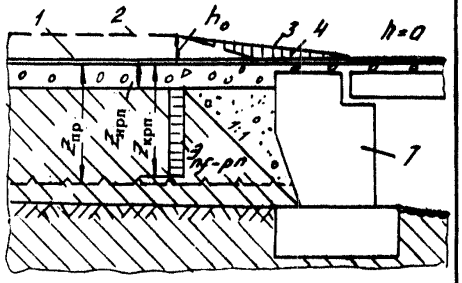
1	2	3	4
8		Горб	Локальное увлажнение пучинистого грунта
9		а) впадина б) горб	Местные неровности основной площадки или основания подушки (в случае однородных равномерно увлажненных грунтов)

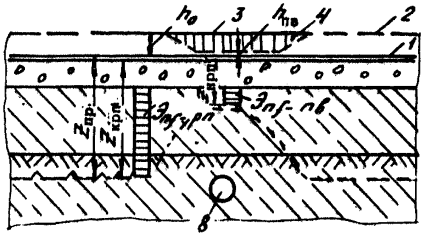
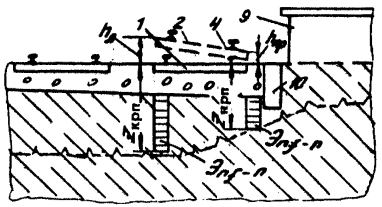
1	2	3	4
10		1-й этап – впадина П-ой этап – горб	Высокое увлажнение в местах балластных углублений на основной площадке при однородных пучинистых грунтах
11		Перепад	Неравномерность глубины залегания вечномерзлых грунтов

1	2	3	4
12		Впадина	Искусственная неоднородность грунтов за счет устройства поперечной прорези в пучинистых грунтах
13		Односторонняя	Неоднородность грунтов в поперечном сечении выемки

1	2	3	4
14		Односторонняя	Неравномерность увлажнения грунтов за счет наличия воды в кювете или грунтовых вод
15		-"-	Неоднородность грунтов в поперечном сечении за счет косогорности участка, сложенного пучинистыми грунтами, при отсыпке насыпи из непучинистых грунтов

1	2	3	4
16		Односторонняя	Неоднородность грунтов в поперечном сечении за счет косогорности участка, сложенного непучинистыми грунтами при отсыпке насыпи глинистым грунтом повышенной влажности
17		Впадина	Неоднородность мерзлотно-грунтовых условий около водопропускной трубы при низкой насыпи из слабопучащихся грунтов

1	2	3	4
18		Перепад	Неоднородность мерзлотно-грунтовых условий на участках примыкающих к устою моста
19		- " -	Неоднородность мерзлотно-грунтовых условий на примыкающей к устою моста насыпи из пучинистых грунтов

1	2	3	4
20		Впадина	Неравномерность промерзания за счет теплового влияния трубопровода на окружающий пучинистый грунт земляного полотна и его основания
21		Односторонняя	Неравномерность промерзания пучинистых грунтов у пассажирской платформы

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1, 2, 2^1, 3 – положение рельсового пути, соответственно в предзимний период, в конце зимы, в ходе промерзания и исправленное с помощью пучинных подкладок;

4 – пучинные подкладки;

5 – фронт промерзания в текущий момент зимы;

6 – водопропускная труба;

7 – устой моста;

8 – трубопровод;

9 – пассажирская платформа;

10 – лоток;

11 – поперечная прорезь;

12 – скальный грунт;

13 – вечномерзлый грунт;

h_c, h_o, $h_{пг}$, $h_{пв}$, $h_л$, $h_{пр}$ – величина пучения (поднятия рельсового пути) соответственно суммарного, равномерного, на пучинном горбе, на пучинной впадине, у левого конца шпалы, у правого конца шпалы;

$z_{пр}$, $z_{от}$, z_c, $z_{нрп}$, $z_{крп}$ – глубина залегания от дневной поверхности соответственно границы промерзания, границы оттаивания, фронта промерзания, верхней границы слоя грунта, вызывающего неравномерность пучения (соответствующей началу роста пучины), нижней границы этого слоя (соответствующей прекращению роста пучины);

$э_{пf-рп}$, $э_{пf-пг}$, $э_{пf-пв}$, $э_{пf-л}$, $э_{пf-п}$ – условные эпюры интенсивности пучения соответственно на участке равномерного пучения, пучинном горбе, пучинной впадине, под левыми концами шпал, под правыми концами шпал,

Приложение 2
Справочное

НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГРУНТОВ (рис. 1 – 8)

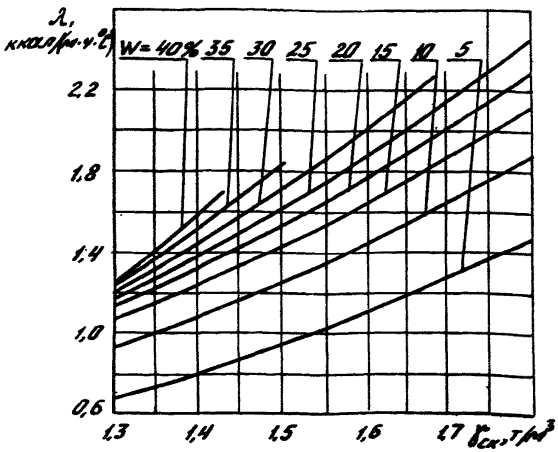


Рис. 1. Значения коэффициента теплопроводности λ талых песчаных грунтов в зависимости от их влажности W и плотности скелета $\gamma_{ск}$ при $t = +4\ ^{\circ}C$

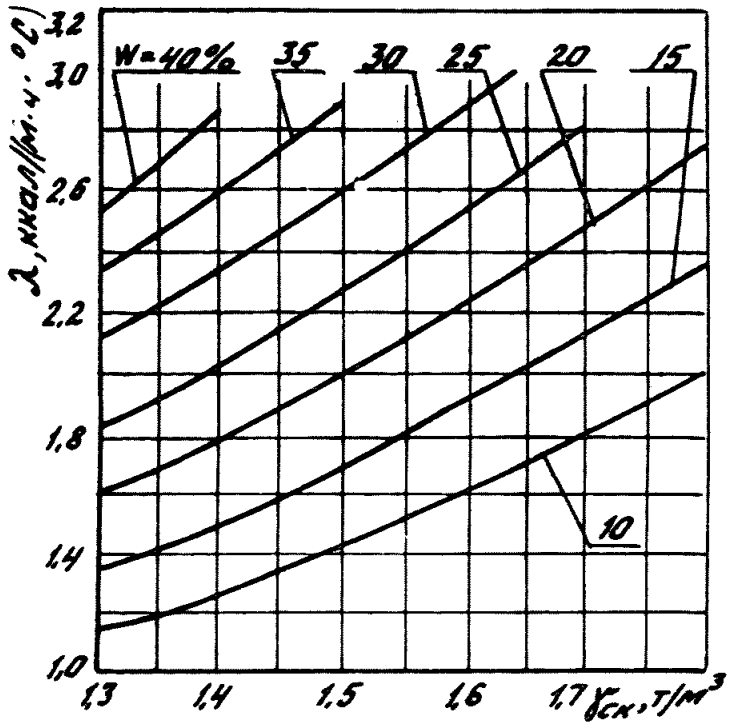


Рис. 2. Значения коэффициента теплопроводности мерзлых песчаных грунтов в зависимости от их влажности и плотности скелета при $t = -4\ ^{o}C$

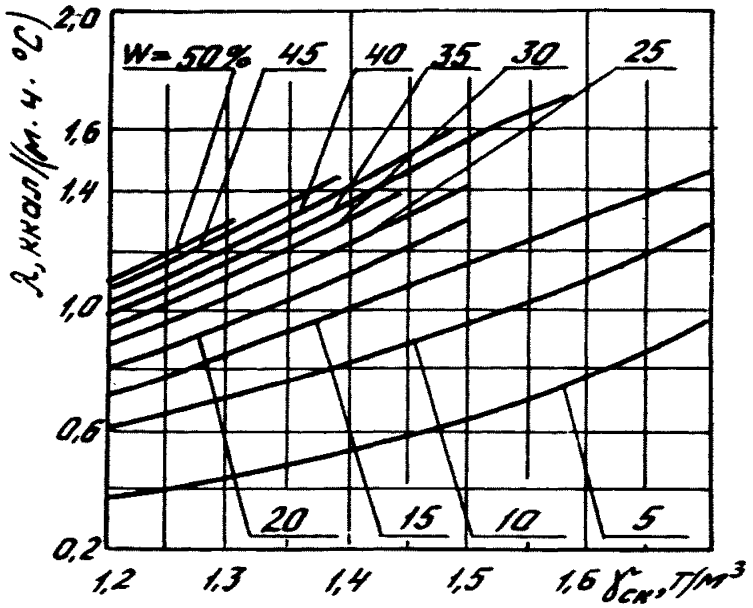


Рис. 3. Значения коэффициента теплопроводности талых глинистых грунтов в зависимости от их влажности и плотности скелета при $t = +4\ ^{o}C$

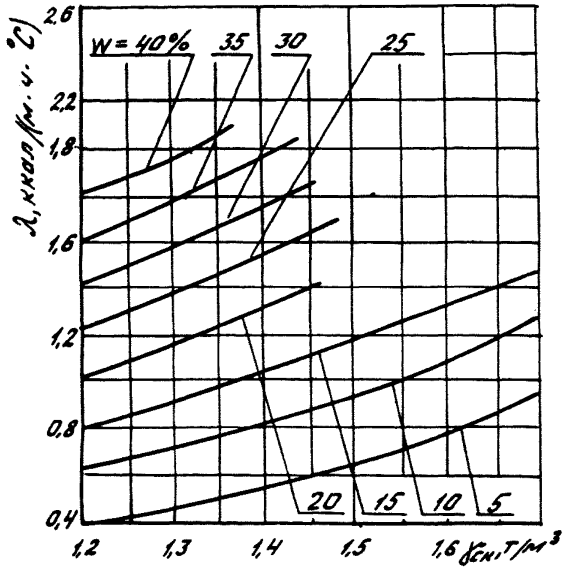


Рис. 4. Значения коэффициента теплопроводности мерзлых глинистых грунтов в зависимости от их влажности и плотности скелета при $t = -4\ ^{o}C$

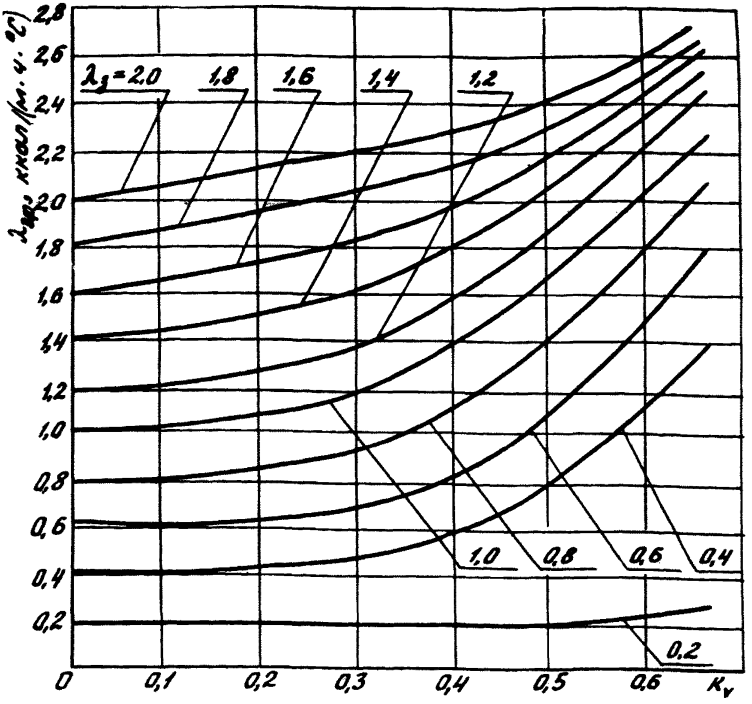


Рис. 5. Значения эффективного коэффициента теплопроводности $\lambda_{эф}$ крупнообломочных грунтов в зависимости от значений коэффициента теплопроводности мелкозернистого заполнителя $\lambda_з$ в талом состоянии и объемного содержания крупных частиц K_v

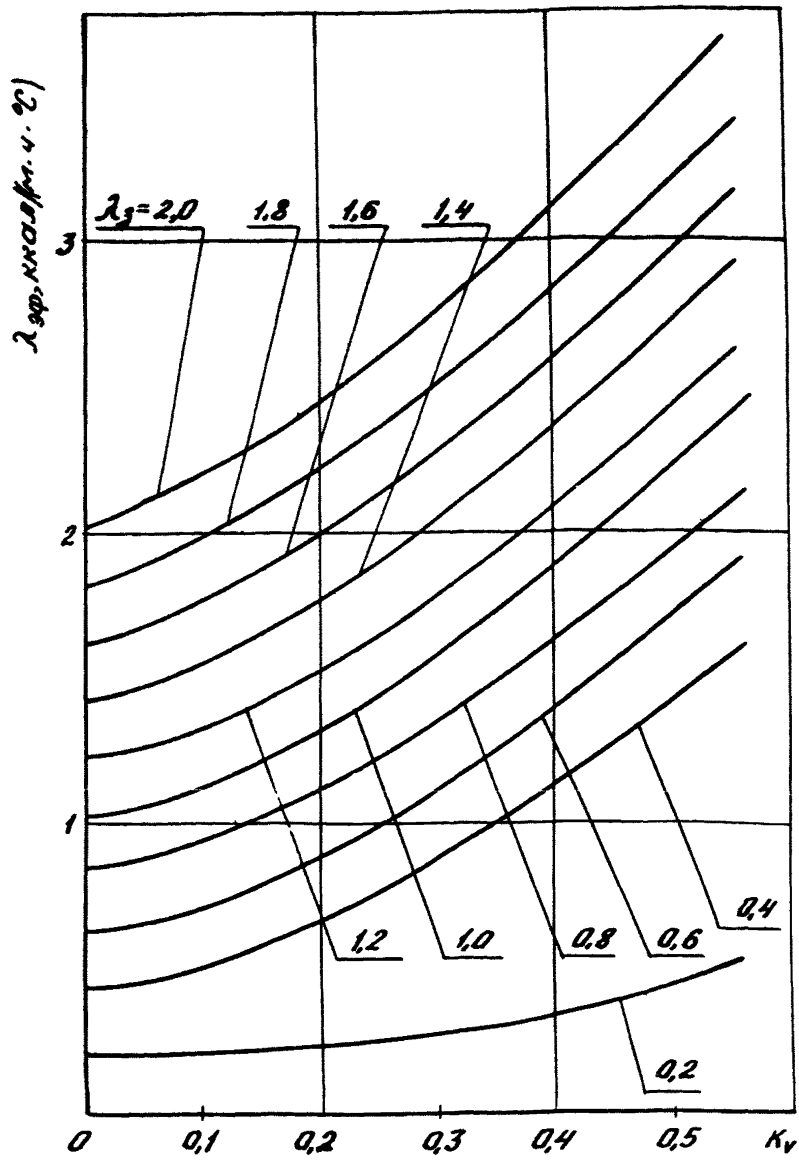


Рис. 6. Значения эффективного коэффициента теплопроводности $\lambda_{эф}$ крупнообломочных грунтов в зависимости от значений коэффициента теплопроводности мелкозернистого заполнителя $\lambda_з$ в мерзлом состоянии и объемного содержания крупных частиц

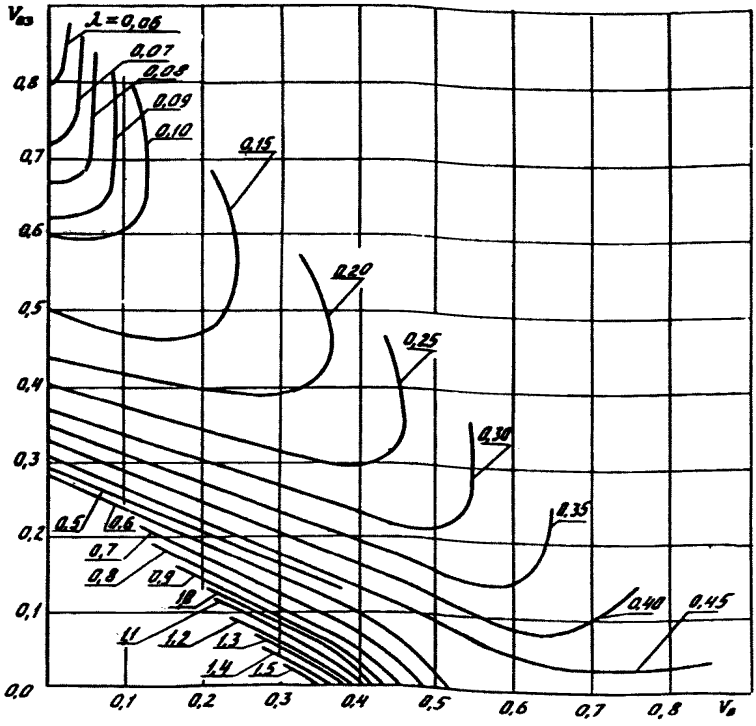


Рис. 7. Значения коэффициента теплопроводности λ талых торфов и заторфованных грунтов в зависимости от объемного содержания в них воды $V_в$ и воздуха $V_{вз}$

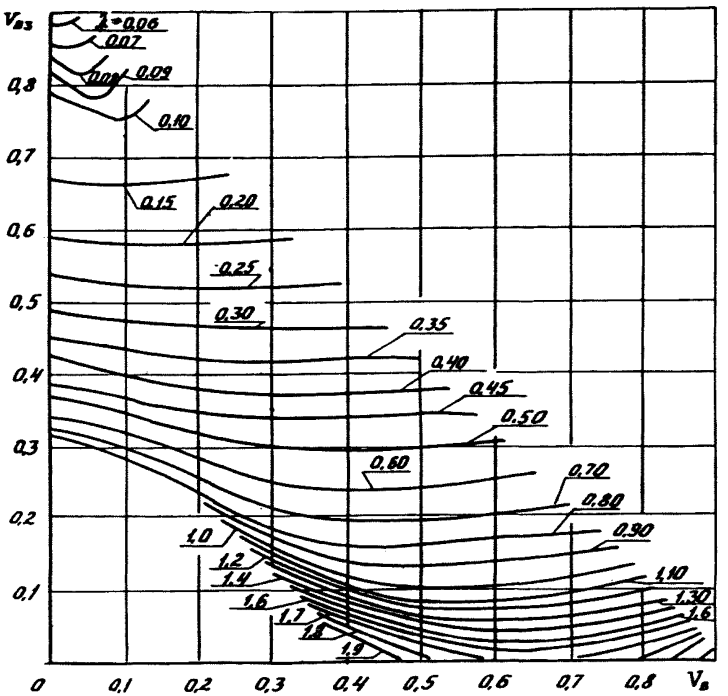


Рис. 8. Значения коэффициента теплопроводности λ мерзлых торфов и заторфованных грунтов в зависимости от содержания в них воды $V_в$ и воздуха $V_{в3}$

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 4

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПУЧИНООПАСНЫХ УЧАСТКОВ И ГРУНТОВ 5

3. МЕРЗЛОТНО-ГРУНТОВОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПУЧИНООПАСНЫХ УЧАСТКОВ 7

4. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОДЕФОРМАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ 9

5. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ПРОТИВОДЕФОРМАЦИОННОЙ ПОДУШКИ ИЗ ДРЕНИРУЮЩЕГО ГРУНТА 11

Основные положения 11

Расчет толщины дренирующей подушки по условию обеспечения несущей способности ее основания 12

Расчет толщины подушки по условию ограничения величины пучения ее основания 17

Порядок расчета 26

Основные требования к противодеформационным конструкциям из дренирующего грунта 30

6. ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА 43

7. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ ПОДУШКИ. 46

Пример 1 46

Пример 2 49

Пример 3 52

Инженерные решения 53

ПРИЛОЖЕНИЯ :

1. Схемы прогнозирования возможных деформаций земляного полотна и железнодорожного пути 55

2. Номограммы для определения коэффициентов теплопроводности грунтов 67

Редактор Н.И.Шкуренко
Корректор О.Д.Сухова
Технический редактор Е.В.Карелина

Подп.к печ. 8.4.86 г. Л-46674 Заказ 449.
ем 5 п.л. Тираж 430 экз. Цена 75 коп.
Ротапринт ЦНИИСа

gost.e-ecolog.ru