ОДМ 218.2.086-2019

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОГНОЗИРОВАНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНСТВО
(РОСАВТОДОР)

МОСКВА 2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 **РАЗРАБОТАН: ООО «Сибирский инновационный дорожный центр»** (ООО «СибИНДОР»), с привлечением специалистов ФГБОУ ВПО СибАДИ и ОАО «Омский СоюзДорНИИ».

2 **ВНЕСЕН:** Управлением строительства и эксплуатации автомобильных дорог Федерального дорожного агентства.

3 **ИЗДАН** на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от _____ № _____.

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Содержание

Раздел 1. Область применения……4
Раздел 2. Нормативные ссылки……...5
Раздел 3. Термины, определения и обозначения……...6
Раздел 4. Общие положения……...14
Раздел 5. Регулирование процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов……...19
Раздел 6. Регулирование многолетнего протаивания грунтов…….42
Раздел 7. Расчётные методики прогнозирования тепловой и общей устойчивости дорожных сооружений……51
Раздел 8. Инженерно-геокриологические условия и устойчивость многолетнемёрзлых пород к нарушениям естественной природной обстановки……..67
Приложение А……74
Приложение Б……96
Приложение В……113
Библиография……119

Раздел 1. Область применения

Настоящий отраслевой дорожный методический документ (далее – Рекомендации) разработан в развитие и дополнение ОДМ 218.000-2012 «Методические рекомендации по проектированию земляного полотна на вечной мерзлоте с использованием местных грунтов» [1] и ВСН 84-89 «Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты»[2].

ОДМ носит рекомендательный характер и предназначен для опытно-экспериментального применения с дальнейшим развитием и дополнением необходимых расчётных методик. Предлагаются различные защитные конструктивно-технологические решения, повышающие тепловую и общую устойчивость, как ранее возведённых, так и вновь строящихся дорожных насыпей. Учитывается отепляющее воздействие происходящего и прогнозируемого на ближайшие 50-100 лет глобального потепления климата [3-4]. Для северных территорий РФ (характеризующихся наличием вечной мерзлоты), наблюдаемое глобальное потепление характеризуется постепенным увеличением объёма выпадающих осадков (в среднем на 10-20% от 1980 к 2015 году) и повышением зимних температур воздуха (от 1,5-2 до 2,5-3 °С и более).

Рекомендации применяются при проектировании и реконструкции дорожных насыпей, на многолетнемёрзлых грунтах с проверкой их тепловой устойчивости (по коэффициенту тепловой устойчивости). Также их отдельные положения применяются при строительстве, эксплуатации, инженерно-геокриологических обследованиях и мониторинге дорожных сетей.

Данные Рекомендации предназначены для автомобильных дорог общего и не общего назначения (промысловых, притрассовых, подъездных и др.) переводящихся затем, по мере необходимости, в общую группу пользования, сооружаемых в зоне вечной мерзлоты (в том числе и запроектированных по универсальному принципу проектирования, независимо от категорийности).

В Рекомендациях приводится общая методика прогноза тепловой устойчивости дорожных насыпей и решения по усилению природного (естественного) охлаждающего воздействия на их мерзлое основание со снижением различных отепляющих воздействий. Предлагаются мероприятия, уменьшающие неравномерные осадки дорожных сооружений при оттаивании грунтов насыпи, и основания в период эксплуатации по универсальному (экологическому) принципу проектирования.

Рекомендации предполагают реализацию решений, минимизирующих общие затраты за счёт максимального использования местных природных тепло ресурсов и материалов с преобразованием новых комплексов в направлении ускорения их сукцессии (природной стабилизации) в после строительных и эксплуатационных условиях.

Раздел 2. Нормативные ссылки

В настоящих Рекомендациях использованы нормативные ссылки на следующие документы:

1. ГОСТ 22733-2016 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности
2. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
3. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.
4. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов.

Раздел 3. Термины, определения и обозначения

В настоящих Рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями:

Геотермический градиент – представляет собой изменение температуры в недрах Земли с глубиной и выражается в градусах на единицу глубины. Средний (нормальный) геотермический градиент равен примерно 15°С/км.

Геотермический тепловой поток – является произведением геотермического градиента на соответствующую удельную теплопроводность пород на глубине и обеспечивает нижнее граничное условие практически для всех тепловых расчётов, связанных с температурным режимом грунтов. Средний (нормальный) геотермический тепловой поток составляет примерно 0,046 Вт/м^2. Температурный градиент составляет примерно 1,5-3°С на 100 м.

Глубина нулевых амплитуд - это глубина, на которой температура ММГ (ММП) является постоянной в течение всего годового периода, не зависимо от сезонных колебаний температуры воздуха. Эта температура (в связи с отсутствием амплитуды A_0=0, рисунок 3.1) является основной характеристикой среднегодовой температуры многолетнемёрзлых (вечномёрзлых) грунтов.

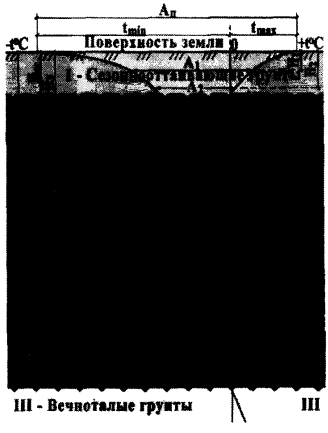


Рисунок 3.1- Изменения температуры в годовом периоде по глубине сезонноотаивающего слоя грунта и вечномёрзлой толщи пород [5]

На рисунке 3.1 обозначено:

A_n, A_1, A_2 и т.д. - годовые амплитуды температур на поверхности земли, на глубинах H_1, H_2, ит.д., в °С;

H_o - глубина нулевой амплитуды пород, м;

$H_{от}$ -глубина оттаивания грунтов за тёплый период, м;

$H_з$ - потенциальная глубина замерзания талых грунтов за холодный период, м;

ВГММГ - верхний горизонт многолетнемёрзлых грунтов;

НГММГ - нижний горизонт многолетнемёрзлых грунтов;

t_0- отрицательная температура многолетнемёрзлых грунтов в точке нулевых амплитуд A_0, °С;

1 - обёртывающая линия самых низких отрицательных температур толщи пород по глубине в данной конкретной точке поверхности земли;

2 - обёртывающая линия самых высоких положительных и отрицательных температур толщи пород по глубине в данной конкретной точке поверхности земли.

Глубина сезонного оттаивания - это глубина оттаивания за тёплый период при наличии ММГ (ММП). Она устанавливается замерами в конце тёплого периода (с учётом или без учёта тепловой инерции, когда нижнее оттаивание частично продолжается, не смотря на начало промерзания талого слоя с поверхности). Полная её величина равна толщине оттаявшего грунтового слоя плюс величина произошедшей осадки. Учет осадки наиболее существенен для оттаивающих льдонасыщенных грунтов, где величина осадки может составлять до 30-50% и более.

Деградация вечной мерзлоты- многолетний процесс постепенного повышения среднегодовой температуры вечномёрзлого грунта, приводящий к понижению верхней и повышению нижней поверхности слоя вечной мерзлоты.

Криогенная (мерзлотная) текстура - это особая форма и взаиморасположение основных составляющих мёрзлых грунтов, содержащих минеральные частицы, воду, лёд и воздух. В дорожной отрасли используют 3 обобщённых вида**криогенной текстуры: массивную, слоистую, сетчатую (блоковую, ячеистую)** (рисунок 3.2):

-массивная текстура (рисунок 3.2 - А) характеризуется наличием в основном только порового льда, льда-цемента; представляет собой бесшлировую криогенную текстуру;

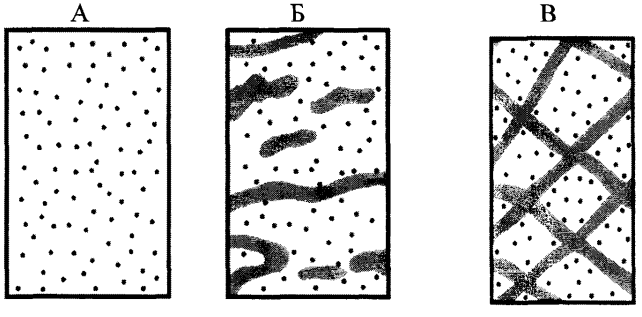


Рисунок 3.2 Обобщённые виды текстур мёрзлых грунтов:
А - массивная; Б - слоистая; В — сетчатая (блоковая, ячеистая)

- **слоистая текстура** (рисунок 3.2 - Б) характеризуется чередованием включений в виде ледяных прослоек и линз с минеральными слоями, которые имеют массивную текстуру;

- **сетчатая** (блоковая, ячеистая) текстура(рисунок 3.2 - В)формируется за счёт ледяных включений - прослоек, располагающихся в виде сетки.

Косвенным показателем качественной градации сезонного промерзания в зоне вечной мерзлоты является криогенная текстура тонкодисперсных, неоторфованных в нижней половине сезонно-мёрзлых грунтов. При однонаправленном прямом промерзании криогенная текстура в нижней части сезонно-мёрзлых пород массивная (рисунок 3.2 А). При двунаправленном прямоупреждающем и синхронном промерзании она шлировая: слоистая или сетчато-слоистая (рисунок 3.2 Б и В). Различить эти две градации позволяет мощность нижнего шлирового горизонта сезонномёрзлых грунтов деятельного слоя: менее 10 см при прямоупреждающем промерзании и более 10 см, при синхронном. При возвратноупреждающем промерзании грунтов в их нижнем горизонте формируется шлировая сетчатая, реже слоистая криогенная текстура и атакситовая ниже горизонта со шлировой криогенной текстурой.

Криолитозона– часть земной коры, которая характеризуется наличием отрицательных температур и возможностью существования подземных льдов. Включает деятельный слой (оттаивающий летом и замерзающий зимой) и многолетнюю криолитозону. Нижняя граница криолитозоны -изотермическая поверхность с температурой 0°С.

Классификация мёрзлых грунтов.

Вечномёрзлые грунты классифицируют:

I- по физическому состоянию (по температуре);

II - по территориальному распространению;

III- по продолжительности существования.

I. **По физическому состоянию** мёрзлые грунты подразделяют на:

- **низкотемпературные (твёрдомёрзлые),** т.е. прочно спаянные льдом, практически несжимаемые грунты с температурой ниже границ замерзания грунтов (температура замерзания, ориентировочно, составляет для песков пылеватых - ниже минус 0,3 °С, для супесей - ниже минус 0,6 °С, для суглинков - ниже минус 1°С, для глин - ниже минус 1,5 °С);

- **высокотемпературные (пластичномёрзлые),** характеризуются большим содержанием незамерзшей воды, с температурой ниже 0°С и выше температуры замерзания глинистых грунтов (до -1,5 ÷ -2,0°С). Обладают вязкими свойствами и характеризуются способностью ползучести и сжимаемости под весом от сооружения;

- **сыпучемёрзлыми** называются, преимущественно песчаные и крупнообломочные грунты, несцементированные льдом, вследствие их малой влажности в соответствии с таблицами Б.28 и Б.32 ГОСТ 25100-2011;

- **засолёнными мёрзлыми грунтами** называются мёрзлые грунты континентального засоления (сульфатный тип засоления), если отношение массы водорастворимых солей в грунте к массе сухого(скелета) грунта в них превышает по степени засоления D_{sal} , %:

- для песков ≥ 0,1%;
- для супесей ≥ 0,15%;
- для суглинков ≥ 0,20%;
- для глин ≥ 0,25%.

Мёрзлые грунты с морским типом засоления легкорастворимыми солями (хлоридный тип засоления) подразделяются на разновидности в соответствии с таблицей Б.33 ГОСТ 25100-2011.

II. **По территориальному распространению** многолетнемёрзлые грунты подразделяют на:

- районы сплошной вечной мерзлоты, т.е. обширные пространства, в пределах которых многолетнемёрзлые грунты, как правило, наблюдаются повсеместно;
- районы прерывистой и островной вечной мерзлоты с многолетнемёрзлыми грунтами разделёнными участками сезонно мёрзлых грунтов.

III. **По продолжительности существования** мёрзлые грунты подразделяют на:

- **сезонномёрзлые грунты** (СМГ) или **породы** (СМП), существующие в течение зимы (или нескольких месяцев), но менее года;
- **многолетнемёрзлые грунты** (ММГ) или **породы** (ММП), существующие более трёх лет.

Многолетнемёрзлые грунты («вечная мерзлота», криолитозона) - районы распространения грунтовых толщ, имеющих отрицательную температуру в течение трехлетнего периода и более, вечная мерзлота – не менее ста лет. Вечную мерзлоту по температуре на границе нулевых годовых амплитуд подразделяют на высокотемпературную (до минус 2°С, преимущественно минус 0,5 ÷ 1,5°С и выше) и низкотемпературную (ниже минус 2°С, преимущественно минус 3 ÷ 5°С и ниже).

По условиям распространения различают сплошную, прерывистую и островную вечную мерзлоту (криолитозону). Мощность вечной мерзлоты составляет от нескольких метров в умеренных широтах (южная подзона), до 1,5 км в высоких.

Нулевая завеса – промерзающий слой грунта, отдавая свою тепловую энергию (теплоту), на фазовые превращения воды в лёд (80 кал/г), замедляет этим охлаждение нижележащих слоёв и их промерзание задерживается; оттаивающий слой, аналогично поглощая тепловую энергию на фазовые превращения льда в воду, замедляет отепление нижележащих слоев грунта и их оттаивание также задерживается (в сильно переувлажнённых и льдонасыщенных грунтах более 90% затрат тепла идёт на фазовые переходы воды) [6].

Перелетки – слои грунта, замерзающие зимой и не оттаивающие в течение одного-трёх лет.

Сливающаяся или **не сливающаяся (деградирующая) мерзлота** наблюдаются в том случае, когда деятельный (сезонноотаивающий) слой грунта при зимнем промерзании сливается с многолетнемёрзлой толщей или не сливается.

Сукцессия – последовательная замена одних биоценозов (растительных сообществ) другими на определённом участке осваиваемой территории до

формирования устойчивого (равновесного) типа биоценоза, характерного для конкретной физико-географической обстановки. Время естественного зарастания (восстановления) осваиваемых территорий.

Транспирация – испарение влаги растительным покровом (растениями). Вызывает охлаждение поверхности растительного покрова от радиационного нагрева (солнцем).

Термокарст – процесс вытаивания подземных льдов, сопровождающийся осадками протаявшего грунта и возникновением отрицательных форм рельефа (впадин), не редко, заполненных водой. В том числе и в основаниях дорожных насыпей, отсыпаемых в нижней части из водопроницаемых, дренирующих грунтов.

Тепловой импульс теплого и холодного периода–соответственно количество градусо-часов (или градусо-месяцев)тёплого или холодного периода. Равен произведению средней температуры воздуха за тёплый или холодный период на их длительность в часах (или месяцах), в течение одного года.

Тепловой диод – деятельный водонасыщенный грунтовый слой (или др. водонасыщенные прослойки и устройства) воздействующий на теплообороты в нижележащем мёрзлом грунтовом массиве, за счет сезонных изменений плотности теплового потока в талом и мёрзлом состоянии (с созданием повышенного охлаждающего воздействия). Ввиду того, что кондуктивная теплопроводность льда в 4 раза больше чем у воды, а температуропроводность больше в 8 раз.

Температурная сдвижка – повышение или понижение температуры определённого грунтового слоя (например, слоя сезонного оттаивания) за счёт какого – либо дополнительного воздействия (например, повышение температуры сезонноталого слоя за счёт инфильтрации в него тёплых вод осадков, прогретых поверхностных вод или конденсации водяных паров и т.д.).

Условия теплообмена на поверхности – комплекс природных и техногенных факторов, влияющих на процесс тепло- и массообмена на поверхности с окружающей средой: температура воздуха, солнечная радиация, испарение, транспирация, альбедо поверхностей, их расположение (север, юг и т.д.) и угол наклона к лучам солнца, тип напочвенных покровов (растительность, снег, вода, торфяная, торфо-глинистая или скальная обсыпка и т.п.), рельеф местности, режим и характер обводнённости, различные искусственные покрытия (теплоизолирующие, теплодиодные, солнцеосадкозащитные, дорожные и т.д.).

При теплотехнических расчётах условия теплообмена на поверхности учитываются путём введения в расчётную схему обобщённых параметров в виде температуры воздуха приведённой к температуре поверхности с учётом поправочных данных (по табл. 6.2).

Осадка оттаивания мёрзлого грунта основания насыпи – это процесс деформации уплотнения оттаивающего грунта под нагрузками (от веса насыпи и оттаявших слоёв основания, а также веса и динамического воздействия подвижной нагрузки). Он обусловлен увеличением плотности оттаивающих

под нагрузкой грунтовых слоёв, в связи с уменьшением их пористости, при выдавливании воздуха (газов) и воды из пор грунта в условиях затруднённости (или невозможности, например, в чаше мерзлотного оттаивания и др.) бокового расширения, а также затруднённости (или отсутствии) краевого выдавливания грунта вверх (выпора), по краям площади нагружения. При этом происходит боковое (в края площадки нагружения) выдавливание отжимаемой воды, а также инфильтрация её в оседающую нижнюю часть насыпи (особенно при отсыпке её из дренирующего грунта).

Просадка грунта – это осадка грунта вызванная его замачиванием водой, как при оттаивании, так и при инфильтрации, напитывании водой и т.д. Грунт считается просадочным, при относительной деформации просадочности не менее $\varepsilon_{sl} \geq 0{,}01$.

Универсальный (экологический) принцип проектирования – комбинированный принцип проектирования с учётом (по прогнозному расчёту) природной тепловой устойчивости дорожной насыпи в условиях глобального потепления климата на основаниях из многолетнемерзлых грунтов по условию Карлсона-Кудрявцева.

Основные обозначения.

V - объём (количество) летних тёплых жидких осадков или сконденсировавшихся водяных паров, инфильтрирующихся в дренирующий грунт, мм/м^2 или кг/м^2 ;

R - термическое сопротивление, равное Н/λ, (м^2*°К)/Вт или (м^2*ч*°С)/ккал;

Н - толщина материала, м;

$Н_{из}$ - толщина теплоизоляции, м;

D_{sal} - степень засоления мёрзлого грунта , %;

$Н_{кр}$- критическая толщина снега, воды и др. при которой среднегодовая температура грунтовой поверхности становится равной (или более) 0 °С;

i_{tot}- суммарная льдистость (определяемая по формуле А.30 ГОСТ 25100-2011), д.е.;

I - климатический мерзлотный индекс (рассчитываемый с учётом текущего и прогнозируемого на ближайшие 50-100 лет глобального потепления, в среднем, на 3 °С);

$\Omega_м$ - сумма годовых отрицательных градусо-часов температур воздуха (поверхности) или зимний тепловой импульс;

$\Omega_т$ - сумма годовых положительных градусо-часов температур воздуха (поверхности) или летний тепловой импульс;

α - коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности грунта или дорожного покрытия, в среднем равный 15-20 ккал/м^2· ч·°С;

$H_{от}$ - глубина сезонного оттаивания многослойной конструкции, м;

$H_{пр}$ - глубина сезонного промерзания многослойной конструкции, м;

$H_{отн}$ - расчётная глубина оттаивания нижнего слоя многослойной конструкции, м;

λ_m - коэффициент теплопроводности материала(грунта) в талом состоянии, Вт/(м·°С) или ккал/(м·час·°С);

$\lambda_м^{ср}$ - средневзвешенный коэффициент теплопроводности слоев многослойной системы (дорожная одежда, насыпь и основание) в мёрзлом состоянии, Вт/(м·°С) или ккал/(м·час·°С);

$\lambda_{сн}$ - коэффициент теплопроводности снега, Вт/(м·°С) или ккал/(м·час·°С);

C_{mi} - объёмная теплоёмкость материала слоёв конструкции и деятельного слоя основания, кДж/(м^3·°С) или ккал/(м^3·°С);

$C_{мi}$ - объёмная теплоёмкость материала слоёв конструкции и деятельного слоя основания в мёрзлом состоянии, кДж/(м^3·°С) или ккал/(м^3·°С);

L_v - количество скрытой теплоты фазовых переходов влаги в 1 м^3;

L_o -скрытая теплота льдообразования (равная 334 кДж/кг или 80ккал/кг);

W_{tot} - суммарная влажность грунта, д.е.;

W_w - содержание незамёрзшей воды, д.е.;

W_{opt} - оптимальная влажность грунта (по ГОСТ 22733-2016), д.е.;

W_p- влажность грунта на границе раскатывания, д.е.;

ρ_d - плотность сухого (скелета) грунта, г/см^3 или кг/м^3;

ρ - плотность грунта, кг/м^3;

$\rho_{сн}$ - плотность снега, кг/м^3;

T_{max} - среднемесячная температура воздуха (или поверхности) за самый тёплый летний месяц, °С;

$T_з$ - абсолютная средняя температура воздуха за период с отрицательными температурами воздуха (принимается по абсолютной величине, со знаком плюс и уменьшается в среднем на 3°С и более, для учёта происходящего и прогнозируемого длительного глобального потепления климата, происходящего на территории РФ преимущественно за счёт повышения зимних температур воздуха), °С;

$t_{ср}$ - среднегодовая температура земной поверхности (пород, покрытия и др.), °С;

$t_д$ - температура на подошве сезонно талого (деятельного) слоя (СТС), °С;

$t_в$ - среднегодовая температура воздуха, °С;

$t_{ос}$ - температура летних тёплых жидких осадков, °С;

t_o- отрицательная температура многолетнемёрзлых грунтов в точке нулевых амплитуд A_0, °С;

Δt_R - изменение среднегодовой температуры поверхности за счет изменения альбедо и/или угла наклона, северной или южной экспозиции (условий инсоляции), °С;

$\Delta t_{сн}$ - изменение среднегодовой температуры поверхности за счет влияния снежного покрова, °С;

$\Delta t_{ос}$ - изменение среднегодовой температуры поверхности и на подошве слоя сезонного оттаивания за счет влияния теплых летних осадков,°С;

$\Delta t_{раст}$ - изменение среднегодовой температуры поверхности за счет влияния растительного покрова, °С;

Δt_λ - изменение среднегодовой температуры на подошве слоя сезонного оттаивания за счет теплодиодного изменения теплопроводности пород, °С;

τ - время в годах или час;

$\tau_з$ - продолжительность периода с отрицательными температурами воздуха (холодный период года), час.

$\tau_{от}$ - продолжительность периода с положительными температурами воздуха (тёплый период года), час;

$\tau_{зп}$ - время запаздывания начала прямого сезонного промерзания или оттаивания грунта, ч;

$к_{ту}$ - коэффициент тепловой устойчивости, равный $H_{пр}/H_{от} \geq 1{,}1\text{-}1{,}3$;

c - сцепление мерзлого грунта после его оттаивания, МПа или кгс/м^2;

φ - угол внутреннего трения оттаявшего мерзлого грунта, в градусах;

Р - давление оттаявшего слоя грунта, МПа или кгс/м^2;

β - острый угол, составляемый откосом с горизонтальной поверхностью, в градусах;

$\tau_{сд}$ - сопротивление грунта сдвигу, соответствующее началу возникновения пластических деформаций, МПа или (кгс/м^2):

$E_{уа}$- модуль упругости армированного геосинтетиками слоя, МПа;

$E_{оа}$ - модуль деформации армированного геосинтетиками слоя, МПа;

$C_а$ - коэффициент постели армированного геосинтетиками слоя;

$E_у$ - модуль упругости неармированного слоя, МПа;

$E_о$ - модуль деформации неармированного слоя, МПа;

C - коэффициент постели неармированного слоя;

$К_а$ - коэффициент армирования;

S - осадка, в см или м;

$\delta_о$ - общее напряжение (нагрузка) на сезонноотаивающий (деятельный) слой основания от веса насыпи и подвижной нагрузки, МПа (кг/см^2);

$\delta_{св}$ - напряжения (нагрузка) от собственного веса насыпи, МПа (кг/см^2);

$\delta_{пн}$ - напряжение от подвижной нагрузки, МПа (кг/см^2);

$\delta_а$ - величина нормального напряжения от воздействия (колеса) подвижной нагрузки на расчётной глубине, МПа (кг/см^2);

$Р_п$ - давление в пневматических шинах подвижной нагрузки (равное 0,6 – 0,8 МПа), в МПа или кг/см^2;

η - коэффициент динамичности от воздействия подвижной нагрузки (принимаемый, в среднем 1,5);

S_f - величина морозного пучения, см;

S_u - величина допустимого морозного пучения, см;

k_f - коэффициент морозного пучения, д.е.;

δ или ε_{sl} - степень просадочности многолетнемерзлых пород (ММП) при оттаивании, д.е.;

Раздел 4. Общие положения

4.1Требования практики хозяйственного освоения районов вечной мерзлоты обусловили развитие теоретического, регионального и инженерного мерзлотоведения - науки об общих закономерностях развития мерзлых пород, в том числе изменениях мерзлотных условий при строительстве на вечномерзлых грунтах. Комплексный подход к вопросам оценки изменений мерзлотных условий, которые произойдут в будущем, в том числе в связи с хозяйственным освоением территории развития вечномерзлых грунтов, изложен в фундаментальных работах [7-10]. Разработке теоретических основ мерзлотного прогноза и оценки изменений мерзлотных условий посвящены работы [11, 12], в которых обобщены накопленные в мерзлотоведении знания, охарактеризованы аспекты влияния природных факторов на формирование температурного режима мерзлых пород, определены основные теоретические и методические положения прогнозной оценки изменения мерзлотных условий при хозяйственной деятельности на замерзлоченных территориях.

Вопросы прогнозирования температурного режима вечномерзлых грунтов на застраиваемых территориях при освоении северных районов страны, разработки математических методов анализа влияния отдельных факторов на параметры мерзлотных процессов освещены в трудах [13-15].

Основные положения указанных работ, с учетом прогнозируемого на весь 21 век глобального потепления климата (Lachenbruch, Marshall, 1969; Величко, 1973; Будыко, 1989; Клименко, 2007 и др.) [3, 4 и др.] взяты, как базовые при разработке методик геокриологического прогноза устойчивости дорожных сооружений (см. разделы 5-8 Рекомендаций).

Согласно расчётам (М.И. Будыко и др., 1989) прогнозируется следующий темп повышения средней годовой температуры воздуха (°С) с 1900 по 2050гг (см. табл. 4.1):

Таблица 4.1 Повышение среднегодовой температуры воздуха, °С

Годы	1900	1975	2000	2025	2050
Теоретический расчёт	0	0,5	1,3	2,5	3,4
Экстраполяция эмпирических данных	0	0,5	1,25	2,0	2,8

4.2 При разработке методик учитываются следующие положения.

4.2.1 Многолетним протаиванием грунтов называется их протаивание, продолжительностью более одного года. Сезонным промерзанием

(протаиванием) грунтов называется промерзание (протаивание), длящееся менее одного года с сезонной ритмичностью проявления.

4.2.2 Деградация вечной мерзлоты развивается как многолетнее оттаивание льдистых вечномёрзлых грунтов. Она, как правило, возникает из-за образования слоя сезонного протаивания превышающего глубину последующего промерзания (т.е. не сливающейся мерзлоты) в результате естественной динамики климата, эволюции ландшафтов, а также, наиболее часто, при техногенных воздействиях.

4.2.3 Одной из основных причин возникновения и развития термокарстовых просадок, является длительный поверхностный застой воды (особенно слоем критической толщины), а также её сравнительно длительное течение (или фильтрация) по просевшей поверхности.

4.2.4 Критической (для существования вечной мерзлоты) толщиной снегового или водяного слоя на поверхности многолетнемёрзлого грунта принимают такую толщину, при которой расчётная среднегодовая температура поверхности грунта становится равной 0°С. В результате перестает происходить необходимая «подзарядка» холодом вечной мерзлоты, через данный слой. При этом, сезонное оттаивание может смениться на многолетнее (из-за наличия теплого геотермального потока из недр Земли в среднем изменяющегося от 0,025 до 0,084 Вт/м^2 , с «нормальным» геотермическим градиентом, равным примерно 15°С/км) с постепенной деградацией вечной мерзлоты. Развитие данного процесса наиболее характерно для центральной и особенно южной мерзлотной подзоны [1,2].

4.2.5 Водонасыщенные слои глинистого грунта, торфа, геотекстильных материалов, водоудерживающих гелей, криогелей и др. влияющие на теплообороты в нижележащем грунтовом массиве и создающие охлаждающую температурную сдвижку, за счёт сезонных (в талом и мёрзлом состоянии) изменений плотности теплового потока пропускаемого ими, выполняют функцию «тепловых диодов». В результате, обеспечивается повышенный пропуск холода в зимний период и пониженный пропуск тепла в летний период. Это обусловлено значительным (в 8 раз) изменением (увеличением) кондуктивной температуропроводности льда, по сравнению с кондуктивной (без конвективного теплооборота) температуропроводностью воды. Понижение среднегодовой температуры пород на подошве слоя сезонного оттаивания, за счёт данного изменения температуропроводности водонасыщенных пород (т.е. теплодиодный эффект) в среднем, составляет: 0,3°С в крупнообломочных грунтах с влажным глинистым заполнителем, 0,6-0,8°С в переувлажнённых (с влажностью более оптимальной при стандартном уплотнении по методу Союздорнии или Проктора) глинистых грунтах и 1,0-1,5°С в торфах. В несвязанной грунтом воде, тепло переносится преимущественно конвективно (путём турбулентного тепломассопереноса), а зимой, во льду, кондуктивно (путём молекулярной теплопроводности). При этом зимняя кондуктивная (молекулярная) теплопроводность льда, может быть в сотни и тысячи раз меньше отепляющего конвективного теплообмена воды, происходящего, как

правило, в турбулентном режиме (что представляет значительные сложности для замеров и теплотехнических расчётов) [28].

4.2.6 На основе анализа данных многолетних стационарных наблюдений [16] для южной подзоны (I_3 по ВСН 84-89) распространения вечной мерзлоты, температуру оголённой дневной поверхности рекомендуется принимать, в среднем, на 1,5°С ниже и на 1°С выше температуры воздуха соответственно за холодный и тёплый периоды года. Влияние летней отсыпки грунта насыпи или других грунтовых площадок рекомендуется учитывать следующим образом [17]: при высоте отсыпки до 1 м тепловым влиянием отсыпки допускается пренебрегать. При высоте отсыпки более 1 м среднюю (расчётную) температуру поверхности грунта в верхних 10 м, считая от естественной поверхности, допускается повышать на 0,2°С на каждый метр увеличения отсыпки свыше 1 м.

4.2.7 Теплотехническим регулированием называется целенаправленное изменение качественных и количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов, а также проведение других теплозащитных мероприятий (обеспечение снегонезаносимости, дренажа, водоотвода и др.). Цель теплотехнического регулирования – предотвращение или уменьшение отрицательного и усиление положительного (прямого или косвенного) влияния данных процессов на тепловую (термическую) и общую устойчивость искусственных инженерных сооружений. При этом должно обеспечиваться максимально возможное взаимодействие с естественными закономерностями и природными воздействиями (силами). Достигаться самостоятельное (с минимальным вмешательством человека), естественно-природное управление поддержания необходимого температурного режима в основаниях дорожных насыпей возводимых на вечной мерзлоте, что наиболее экологично и экономично.

4.2.7 В соответствии с закономерностью совершенствования технических систем:

- несовершенные технические системы борются с природными силами (воздействиями);
- по мере усовершенствования, технические системы всё более подстраиваются и взаимодействуют (сотрудничают) с природными силами;
- наиболее совершенные технические системы не только максимально возможно взаимодействуют с природными силами, но и в основном (в текущем режиме) находятся под природными регулирующими и управляющими воздействиями.

4.2.8 На участках внерасчётного проявления отрицательных термокарстовых, солифлюкционных и т.д. процессов, регулирование сезонного промерзания и протаивания грунтов, а также другие защитные мероприятия производятся локально (по возможности наименее затрагивая близлежащие, естественно функционирующие участки, например, сбросом на них отепляющих вод или снежных отложений с аварийных участков и др.).

4.2.9 В естественных и изменённых строительством (нарушенных) условиях качественные и количественные показатели сезонного промерзания и

протаивания грунтов переменны во времени и пространстве. В виду этого, по имеющимся обобщённым исследованиям, за репрезентативный (достаточно представительный) период усреднения условно можно принять период, равный 30 годам. Он достаточно (для точности инженерных расчётов) включает значимое природное многообразие зимних и летних погодных условий. Данный период температур воздуха, предпочтительно берётся в ближайший период с 1950 по 1980гг, когда уже велись достаточные метеонаблюдения и ещё не начался процесс интенсивного глобального потепления климата, значимо стартовавший примерно с 80-х годов 20 века. Прогнозное повышение среднегодовых температур воздуха учитывается по данным ближайших гидрометеостанций (ГМС) и агрометеостанций (АГМС).

4.2.10 При разработке методов регулирования процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов с предотвращением послестроительного развития неблагоприятных мерзлотных процессов (термокарста, солифлюкции, наледей и др.), необходимо иметь в виду, что инженерно-геокриологические условия, формирующиеся к окончанию строительства, не соответствуют исходным, зафиксированным в момент производства инженерно-геологических изысканий. Поэтому теоретической основой регулирования процессов сезонного промерзания и протаивания должен являться прогноз изменения геокриологических условий при хозяйственном освоении (изменении) территории.

4.2.11 Вопрос о способах и методах регулирования опасных геокриологических процессов (термокарста, солифлюкции, наледей и др.), должен решаться для каждого «опасного» участка индивидуально. Разработке защитных мероприятий и регулированию сезонного промерзания ипротаивания грунтовых оснований линейных насыпных сооружений (дорожных насыпей) и промышленных площадок должны предшествовать:

4.2.11.1 Исследование этих процессов в естественных условиях, до строительства, с выявлением и учётом особенностей их появления и оконтуривания опасных участков их проявления;

4.2.11.2 Изучение грунтовых слоёв и льдистости верхней части вечномёрзлых грунтов мощностью до 10 – 15 м и температуры вечномёрзлых грунтов в зоне с нулевыми её годовыми колебаниями (т.е. на глубине «нулевых амплитуд», находящейся обычно на расстоянии 8 – 12 м от дневной поверхности) на границах и в центральной части каждого опасного участка;

4.2.11.3 Выполнение инженерно-геокриологической типизации опасных участков инженерных сооружений подверженных деформациям;

4.2.11.4 Расчёт (проверка) эксплуатационной устойчивости запроектированной (существующей) конструкции насыпи по критерию (условию) Карлсона – Кудрявцева [1];

4.2.11.5 Прогнозирование возможного изменения количественных и качественных характеристик (величины прогнозной осадки, увеличение плотности и уменьшение толщины, и суммарной влажности, оттаивающих под расчётной нагрузкой грунтовых слоев, с изменением их теплофизических

характеристик и др.) с проведением скорректированных расчётов по установлению средних и максимальных эксплуатационных глубин промерзания и оттаивания грунтов основания;

4.2.11.6 Назначение вариантов защитных конструктивных и технологических мероприятий с прогнозным расчётом их эффективности для повышения (обеспечения) длительной тепловой и общей устойчивости насыпного инженерного сооружения на многолетнемёрзлых грунтах.

4.3 В разделах 5 и 6 настоящего ОДМ приведены общие мероприятия по регулированию процессов промерзания и протаивания грунтов [18-21]. В разделах 7 и 8 приведены расчетные методики прогнозной тепловой и общей устойчивости дорожных сооружений для решения задач, описанных в п.п. 4.2.11.3-4.2.11.6, которые составляют общий расчетный алгоритм прогнозирования устойчивости дорожных сооружений. Алгоритм позволяет определить эффективность проектных и строительных решений дорожных сооружений в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов, от применения мероприятий по мерзлотной и строительно-эксплуатационной стабилизации грунтов основания и земляного полотна. Примеры методик прогнозной тепловой и общей устойчивости дорожных сооружений, а также справочные данные для расчетов приведены в приложениях А и Б.

Раздел 5. Регулирование процессов сезонного промерзанияи протаивания грунтов

5.1. Регулирование качественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов.

5.1.1 Сезонное промерзание и протаивание грунтов – сложные литокриогенные процессы. По характеру проявления в многолетнем периоде сезонное промерзаниее (протаивание) разделяется на:

систематическое, проявляющееся ежегодно в течение многолетнего репрезентативного периода и прогнозируемое в дальнейшем;

несистематическое, проявляющееся не ежегодно. Оно делится на: частое, если средняя длительность перерывов в проявлении процесса за репрезентативный или требуемый период соизмерима или меньше средней длительности периодов с его ежегодным проявлением, и редкое, если средняя длительность перерывов в проявлении процесса больше средней длительности периодов с ежегодным его проявлением за тот же период.

5.1.2 По устойчивости в течение холодного (теплого) периода года эти процессы бывают: устойчивыми и неустойчивыми. Устойчивым называется сезонное промерзание (протаивание), в течение холодного (теплого) периода не сменяющееся полным протаиванием (промерзанием) промерзшего (протаявшего) горизонта грунтов. Неустойчивым называется сезонное промерзание (протаивание), в течение холодного (теплого) периода года сменяющееся полным протаиванием (промерзанием) промерзшего (протаявшего) горизонта грунтов.

5.1.3 По направленности относительно дневной поверхности выделяются две модификации сезонного промерзания и протаивания: прямое, направленное от дневной поверхности (или дна водоема, водотока) вглубь грунтов, и возвратное, направленное от поверхности грунтов, подстилающих сезонно-талые и сезонно-мерзлые, к дневной поверхности или дну водоема, водотока. В природе проявляется: однонаправленное сезонное промерзание (протаивание) - прямое или возвратное, и двунаправленное при совокупном проявлении прямого и возвратного промерзания (протаивания).

5.1.4 Двунаправленное сезонное промерзание (протаивание) бывает: синхронным, если прямое и возвратное промерзание (протаивание) начинаются одновременно, и метахронным, если прямое и возвратное промерзание (протаивание) начинаются не одновременно. Метахронное сезонное промерзание (протаивание) разделяется на:

прямоупреждающее, если прямое промерзание (протаивание) начинается раньше возвратного, и возвратноупреждающее, если раньше начинается возвратное сезонное промерзание (протаивание).

5.1.5 Регулируя качественные показатели этих процессов можно:

сделать их проявление несистематическим вместо систематического и наоборот;

изменить период проявления устойчивого и неустойчивого сезонного промерзания и протаивания;

исключить или обусловить возвратное промерзание или протаивание;

изменить соотношение дат начала прямого и возвратного промерзания или протаивания.

5.1.6 Изменение качественных показателей этих процессов позволяет:

наиболее существенно воздействовать на их количественные показатели, льдистость и криогенные особенности среды их проявления;

стимулировать или исключать проявление ряда других литокриогенных процессов (солифлюкцию, оплывы, термокарст, пучение и др.), изменять их динамику;

воздействовать на ход почвообразовательных процессов, замедлять или ускорять заиливание, загрязнение грунтовых вод, заболачивание территории, способствовать или препятствовать сохранению природной среды и т.д.

В таблице 5.1 показано изменение льдистости тонкодисперсных сезонно-мерзлых грунтов и свойственного им комплекса литокриогенных процессов при изменении качественных градаций сезонного промерзания в области, близко залегающих вечномерзлых грунтов.

В зависимости от значений температуры грунтов t_o в зоне с нулевыми годовыми ее колебаниями проявляются следующие градации сезонного промерзания и протаивания грунтов:

$t_o > 15$ - сезонное промерзание и протаивание грунтов несистематические за многолетний период и неустойчивые за год, промерзание однонаправленное прямое, протаивание двунаправленное возвратно упреждающее или однонаправленное возвратное;

$t_o < 15$ - сочетание систематического и несистематического, вследствие ежегодных колебаний глубины проявления, устойчивого и неустойчивого из-за различий погодных условий сезонного промерзания и протаивания грунтов;

$15 \geq t_o > 5$ - сезонное промерзание однонаправленное, прямое, сезонное протаивание двунаправленное возвратноупреждающее;

$5 \geq t_o > 4$ - промерзание прямое, протаивание двунаправленное синхронное;

$4 \geq t_o > 0{,}5$ - промерзание прямое, протаивание двунаправленное прямоупреждающее;

$+0{,}5 \geq t_o \geq -0{,}5$ - промерзание и протаивание однонаправленные прямые;

$-0{,}5 > t_o \geq -4$ - промерзание двунаправленное прямоупреждающее, протаивание однонаправленное прямое;

$-4 > t_o \geq -5$ - промерзание двунаправленное синхронное, протаивание прямое;

t_o < -5 - промерзание двунаправленное возвратноупреждающее, протаивание прямое.

Таблица 5.1

Качественные градации сезонного промерзания и протаивания		
Исходная льдистость СМГ и литокриогенные процессы при данной градации сезонного промерзания	Измененная	Льдистость сезонно-мерзлых грунтов (СМГ) и литокриогенные процессы при данной измененной качественной градации сезонного промерзания
I. Двунаправленное, возвратноупреждающее промерзание, однонаправленное прямое протаивание СМГ сильнолвдистые во всех горизонтах, особенно в нижнем; интенсивная;солифлюкция, местами; сплывы, термоэрозия; очень интенсивное морозное пучение весь период промерзания и морозное выпучивание; отсутствие сезонных бугров пучения; очень интенсивное глубокое морозобойное растрескивание и рост повторно-жильных льдов; термокарст в основном по берегам водоемов, водотоков и нарушенных участках.	Двунаправленное синхронное промерзание, однонаправленное прямое протаивание	В первое лето, возрастание скорости и глубины сезонного протаивания, усиление солифлюкции, сплывов, термоэрозии, термокарста. В последующие годы: уменьшие льдистости СМГ, особенно в среднем и нижнем горизонтах; уменьшение интенсивности и изменение динамики солифлюкции и общего морозного пучения; уменьшение сплывов, морозного выпучивания; некоторое усиление термоэрозии; возрастание глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям.
	Двунаправленное прямо-упреждающее, протаивание такое же промерзание	В первое лето: резкое возрастание скорости и глубины протаивания, солифлюкции, сплывов, термозрозии, термокарста В последующие годы: резкое уменьшение льдистости СМГ, особенно в среднем и нижнем горизонте, солифлюкции, прекращение сплывов; некоторое замедление термоэрозии и уменьшение интенсивности глубокого морозобойного растрескивания и роста повторно-жильных льдов; уменьшение интенсивности и динамики общего морозного пучения, выпучивания; резвое возрастание интенсивности термокарста; увеличение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям.
	Однонаправленное прямое промерзание и такое же протаивание	В первое лето: очень резкое возрастание скорости и глубины сезонного протаивания, интенсивности сплывов, термоэрозии, термокарста. В последующие годы: очень резкое уменьшение льдистости, особенно в больший» нижней части; слабое проявление солифлюкции (в начале периода протаивания); постепенное прекращение сплывов; уменьшениетермоэрозии, морозного

		выпучивания; изменение динамики (проявляется в начале периода промерзания) и уменьшение интенсивности общего морозного пучения; формирование сезонных бугров пучения; прекращение глубокого морозобойного растрескивания и формирования повторно-жильных льдов; очень резкое возрастание термокарста; увеличение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям.
II. Двунаправленное синхронное промерзание и однонаправленное прямое протаивание СМГ льдистые в среднем горизонте, сильнольдистые в верхнем и нижнем горизонтах; скорость и глубина протаивания больше, чем при градации I; солифлюкция менее интенсивная, сплывы редки, более интенсивная термоэрозия, глубокое морозобойное растрескивание и рост повторно-жильных льдов; общее морозное пучение очень интенсивное в первую половину периода промерзания и затухает во второй его половине; интенсивное морозное выпучивание, сезонные бугры пучения не образуются	Двунаправленное возвратноупреждающее промерзание, прямое протаивание Двунаправленное прямо- упреждающее промерзание, прямое протаивание	В первое лето: уменьшение скорости и глубины сезонного протаивания, интенсивности солифлюкции, сплывов, термоэрозии и термокарста. В последующие годы: возрастание льдистости СМГ, особенно в нижней и средней часта, возрастание интенсивности и изменение динамики солифлюкции, сплывов, термоэрозии; уменьшение интенсивности термокарста; уменьшение скорости и глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям. В первое лето: увеличение скорости и глубины сезонного протаивания, возрастание интенсивности солифлюкции. сплывов, термоэрозии, особенно в конце периода протаивания. усиление термокарста В последующие годы: уменьшение льдистости СМГ в нижней и средней части, уменьшение интенсивности солифлюкции термоэрозии, особенно сплывов, глубокого морозобойного растрескивания, общего морозного пучения, выпучивания- усиление термокарста, увеличение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям
	Однонаправленное прямое промерзание и такое же протаивание	В первое лето: те же изменения криогенных процессов, что и в предшествующем случае, но большее увеличение периода их проявления В последующие годы: резкое уменьшение льдистости нижней и средней части СМГ; изменение динамики и уменьшение интенсивности солифлюкции, общего морозного пучения уменьшение морозного выпучивания, термоэрозии-прекращение глубокого морозобойного

		растрескивания и роста повторно-жильных льдов, сплывов; развитие зонных бугров пучения: усиление термокарста, увеличение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям.
III. Двунаправленное прямоупреждающее промерзание, однонаправленное прямое протаивание СМГ сильнольдистые в верхнем и небольшом нижнем горизонте и льдистые в преобладающем по мощности среднем горизонте; солифлюкция проявляется слабо; сплывы не развиты;	Двунаправленное возвратно-упреждающее промерзание, однонаправленное прямое протаивание	В первое лето: очень резкое сокращение скорости и глубины сезонного протаивания, замедление солифлюкции, термоэрозии, термокарста. В последующие годы: очень резкое увеличение льдистости СМГ, особенно в нижнем горизонте, возрастание интенсивности и изменение динамики солифлюкции, общего морозного пучения; усиление сплывов, морозного выпучивания, глубокого морозобойного растрескивания и роста повторно-жильных льдов, замедление термокарста и термоэрозии; сокращение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям.
интенсивная термоэрозия на обнаженных склонах, термокарст; неинтенсивное глубокое морозобойное растрескивание и слабый рост повторно-жильных льдов; морозное пучение интенсивное в первую половину периода промерзания; морозное выпучивание	Двунаправленное синхронное промерзание, однонаправленное прямое протаивание	В первое лето: небольшое сокращение глубины сезонного протаивания, уменьшение интенсивности солифлюкции, сплывов, термоэрозии, термокарста. В последующие годы: возрастание льдистости СМГ, особенно в нижнем горизонте, *интенсивности солифлюкции; проявление* сплывов, усиление термоэрозии, глубокого морозобойноного растрескивания и роста повторно-жильных льдов; изменение динамики и увеличение интенсивности общего сезонного морозного пучения, выпучивания; уменьшение термокарста; сокращение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям

	Однонаправленное прямое промерзание и такое же протаивание	В первое лето: увеличение глубины сезонного протаивания, термокарста и термоэрозии. В последующие годы: уменьшение льдистости СМГ, особенно в большей нижней части, практическое прекращение солифлюкции, ослабление термоэрозии; прекращение солифлюкции, уменьшение интенсивности и изменение динамики общего морозного пучения (проявляется в начале периода промерзания), уменьшение морозного выпучивания: образование сезонных бугров пучения; прекращение глубокого морозобойного растрескивания; возрастание интенсивности термокарста; увеличение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям.
IV. Однонаправленное прямое промерзание и такое же протаившие СМГ льдистые в меньшей верхней части и слабольдистые в большей нижней части; солифлюкция проявляемся слабо, в начале периода протаивания; сплывы не развиты; термозрозия и термокарст слабо развиты; глубокое морозобойное растрескивание не проявляется; общее морозное пучение неинтенсивное, проявляется в начале периода промерзания, морозное выпучивание неинтенсивное	Двунаправленное возвратноупреждающее промерзание, однонаправленное прямое протаиваванне	В первое лето: очень резкое уменьшение глубины сезонного протаивания, прекращение термокарста.В последующие годы: очень резкое возрастание льдистости СМГ, особенно в нижнем и среднем горизонтах, интенсивности солифлюкции, сплывов, общего морозного пучения и выпучивания; прекращение термокарста; уменьшение термоэрозии; интенсивное глубокое морозобойное растрескивание и рост повторно-жильных льдов; сокращение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям; сильное возрастание заболоченности, чувствительности почвенно-грунтовых вод к загрязнению поверхностного стока вод.
	Двунаправленное синхронное промерзание, однонаправленное прямое протаивание	В первое лето: резкое уменьшение глубины сезонного протаивания, прекращение термокарста. В последующие годы: возрастание льдистости СМГ, особенно в нижнем горизонте, интенсивности солифлюкции, сплывов, термоэрозии, общего морозного пучения и выпучивания, изменение динамики пучения: очень интенсивное в первую половину периода промерзания и прекращается во вторую; уменьшением термокарста; проявление глубокого морозобойного растрескивания и рост повторно-жильных льдов;

		сокращение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям; повышение заболоченности, чувствительности почвенно-грунтовых вод к загрязнению вредными примесями, поверхностного стока вод.
	Двунаправленное прямоупреждающее промерзание, *однонаправленное* прямое протаивание	В первое лето: некоторое уменьшение глубины сезонного протаивания, замедление термокарста. В последующие годы: небольшое увеличение льдистости СМГ, особенно в нижнем горизонте; изменение динамики и повышение интенсивности общего морозного пучения и выпучивания; образование сезонных бугров пучения; местами развитие глубокого морозобойного растрескивания и рост повторно-жильных льдов; некоторое увеличениетермоэрозии; уменьшение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям; возрастание заболоченности пониженных участков, чувствительности почвенно-грунтовых вод к загрязнению.

5.1.7 Косвенным показателем качественной градации сезонного промерзания в области вечномерзлых грунтов является криогенная текстура тонкодисперсных, неторфованных в нижней половине сезонно-мерзлых грунтов. При однонаправленном прямом промерзании криогенная текстура в нижней части сезонно-мерзлых пород массивная. При двунаправленном прямоупреждающем и синхронном промерзании она шлировая: слоистая или сетчато-слоистая. Различить эти две градации позволяет мощность нижнего шлирового горизонта сезонномерзлых грунтов: менее 10 см при прямоупреждающем промерзании и более 10 см при синхронном. При возвратноупреждающем промерзании грунтов в их нижнем горизонте формируется шлировая сетчатая, реже слоистая криогенная текстура и атакситовая ниже горизонта со шлировой криогенной текстурой.

5.1.8 Регулирование качественных показателей этих процессов сводится к требуемому изменению температуры грунтов (см. п.п. 5.1.6.).

Для обеспечения устойчивого проявления качественной градации сезонного промерзания или протаивания, наиболее благоприятной для данного вида освоения территории, нужно учитывать не среднее многолетнее, а экстремальные значения температуры грунтов в зоне с нулевыми годовыми колебаниями за репрезентативный или требуемый многолетний период. Данная градация процесса устойчива, если экстремальные за этот период значения температуры грунтов не выходят за пределы, критические для ее проявления.

5.1.9 Имеются следующие методы регулирования качественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов:

изменение характера снегонакопления и термосопротивления (например, уплотнением, снег с опилками или растительным «очёсом» и др.) снега;

изменение растительного покрова: вырубка леса, кустарников, создание лесозащитных полос, изменение или уничтожение напочвенного покрова, зачернение или увеличение светоотражения (альбедо) поверхности и др.;

применение искусственных теплоизоляционных покрытий;

осушение (дренаж, водоотвод) или увлажнение грунтов верхнего горизонта литосферы с регулированием сезонных циклов промерзания - протаивания;

изменение состава грунтов;

повышение или понижение относительной отметки поверхности опасного участка.

5.1.10 Влияние естественных покровов и искусственных покрытий на качественные показатели сезонного промерзания и протаивания грунтов оценивается по их термосопротивлению, которое нужно изменить так, чтобы температура грунтов в зоне с нулевыми годовыми колебаниями за требуемый многолетний период не выходила за пределы значений, критических для той или иной качественной градации данных процессов.

5.1.11 Указанные в п.п. 5.1.9 методы применимы, как раздельно, так и в комплексе. Взаимосвязь разных составляющих природной среды нередко предопределяет комплексное их воздействие на особенности сезонного промерзания и протаивания даже в случае применения одного из них. Так, изменение мощности снега может привести к изменению напочвенного покрова, влажности грунтов и т.д. Вырубка леса на локальном участке к возрастанию мощности и изменению режима накопления снега, увеличению влажности грунтов и т.д. Применяя любой из методов, следует учитывать также вызванное его применением изменение комплекса природных

факторов, влияющих на температуру грунтов и на сезонное промерзание и протаивание.

5.1.12 Прежде чем использовать тот или иной метод, или комплекс методов, надо оценить реальность изменения требуемых качественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов при их применении.

В крайних северных районах, где температура грунтов с учетом ее колебаний за многолетний период не бывает выше минус 4 - минус 5°С, локальные изменения термосопротивления снежного и напочвенного покровов, изменения состава и влажности грунтов, рельефа поверхности, применение искусственных покрытий не могут изменить однонаправленное прямое сезонное протаивание грунтов на двунаправленное. Образование многолетних снежников, наледей и применение искусственных покрытий может привести к переходу систематического сезонного протаивания грунтов в несистематическое или полностью прекратить его проявление на определенный период. Таким образом, в этих районах можно изменить качественную градацию сезонного промерзания грунтов.

В крайних южных районах с температурой грунтов выше минус 4-5°С столь же затруднительно изменить однонаправленное прямое сезонное промерзание на двунаправленное, хотя можно изменить качественную градацию сезонного протаивания.

5.1.13 Для выбора эффективных методов регулирования качественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов, на том или ином опасном участке, наряду с общей природной обстановкой осваиваемой территории требуется знать:

естественные качественные градации промерзания и протаивания при ненарушенных природных условиях и их устойчивость за требуемый многолетний период, определить которые можно путем натурных наблюдений за ходом этих процессов или по экстремальным за требуемый многолетний период значениям средней годовой температуры грунта, фактическим или расчетным (см. п.п. 5.1.6.);

качественные градации этих процессов после нарушения и стабилизации условий на данном участке, судить о которых можно по прогнозным экстремальным значениям средней годовой температуры грунтов;

качественные градации этих процессов, требуемые при данном виде освоения в целях повышения устойчивости сооружений;

термическое сопротивление разных естественных покровов и искусственных покрытий и их влияние на температуру грунтов разного гранулометрического состава и влажности.

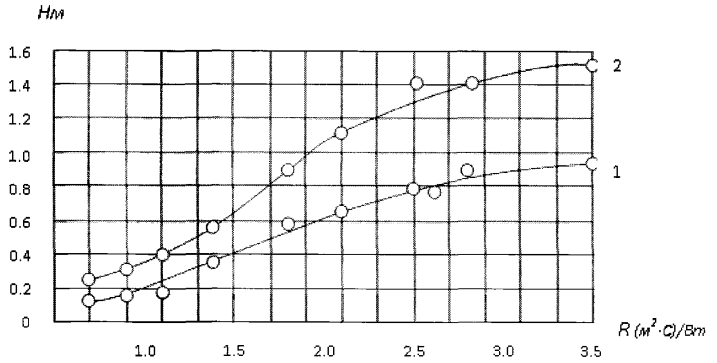


Рисунок 5.1 - Зависимость термического сопротивления снежного покрова от мощности снежной толщи
1 - при среднем значении мощности; 2 - при максимальном значении мощности.

5.1.14 Термическое сопротивление снежного покрова $R_{СН}$ рассчитывается по формуле: $R_{СН} = H_{сн}/\lambda_{сн}$, где $H_{сн}$ - мощность, а $\lambda_{сн}$ - теплопроводность снежного покрова. Зависимость $R_{сн}$ от $H_{сн}$ для Западной Сибири дана на рисунке 5.1. Обобщенные значения коэффициентов теплопроводности и термосопротивление наиболее характерных напочвенных покровов приведены в таблице А.2.

5.1.15 В настоящее время разработаны различные методы прогноза изменений среднегодовой температуры грунта на подошве слоя сезонного промерзания или протаивания.

При отсутствии сведений о температуре грунтов в зоне с нулевыми годовыми колебаниями t_o можно пользоваться этими данными.

Средняя годовая температура на подошве сезонно-талых и сезонно-мерзлых грунтов в любой год в основном мало отличается от t_o. Об этом свидетельствуют данные АГМС и ГМС. Поэтому для ориентировочной оценки качественных градаций сезонного промерзания и протаивания можно считать, что каждая из них проявляется при тех же значениях средней годовой температуры на подошве сезонно-талых и сезонно-мерзлых грунтов, что и в зоне нулевых годовых её колебаний. Применимы для этого сведения АГМС и ГМС о средней годовой температуре грунтов на 3,2 м и даже 1,6 м. Зная влияние различных природных факторов и искусственных покрытий на температуру грунтов, можно определить, как изменить природную обстановку, чтобы обеспечить определенную среднюю годовую температуру

грунтов, а значит и качественную градацию их сезонного промерзания и протаивания.

5.1.16 Влияние естественных покровов и искусственных покрытий на качественные градации сезонного промерзания и протаивания зависит от их термического сопротивления, климатических условий исследуемого района, состава и влажности грунтов, периода существования (наличия) покровов и покрытий (холодный, теплый период года, весь год), а применительно к снежному покрову, также от режима снегонакопления.

Влияние покровов и покрытий на температуру грунтов оценивается по величине их термического сопротивления.

5.1.17 Путем уменьшения термического сопротивления снежного покрова до 1,72; 1,29; 0,86 и т.д. $м^{2}$·°С/Вт в северных районах Западной Сибири однонаправленное прямое сезонное промерзание безлесных торфяников можно изменить на двунаправленное: прямоупреждающее, синхронное или возвратноупреждающее соответственно.

5.1.18 В северной части Западной Сибири, на залесенных и незалесенных участках, сложенных суглинками с влажностью 25 - 35% при термическом сопротивлении снега менее 2,25 $м^{2}$·°С/Вт, сезонное промерзание двунаправленное прямоупреждающее, а протаивание однонаправленное прямое. Увеличение термического сопротивления до 2,25-3 $м^{2}$· °С/Вт обусловливает изменение сезонного промерзания на прямое, а протаивания - на двунаправленное прямоупреждающее несистематическое. Уменьшая термическое сопротивление снега или зимнего покрытия до 0,43 $м^{2}$· °С/Вт, можно изменить сезонное промерзание с прямоупреждающего на синхронное, а протаивание с несистематического двунаправленного на однонаправленное прямое.

5.1.19 Супесчаным и песчаным участкам северной части Западной Сибири свойственна температура в зоне с нулевыми годовыми колебаниями от минус 1,5 до минус 1°С при термическом сопротивлении снега от 3 до 1,6 $м^{2}$· °С/Вт. Уменьшая величину термического сопротивления поверхностных покровов или покрытий, можно изменить однонаправленное прямое сезонное промерзание на двунаправленное прямоупреждающее или синхронное, а протаивание с двунаправленного прямоупреждающего на прямое. Увеличение термического сопротивления до указанных значений обусловит обратные изменения.

5.1.20 Эффективность воздействия смежного покрова и зимних покрытий на среднюю годовую температуру грунтов и качественные показатели сезонного промерзания больше, если мероприятия по изменению их термического сопротивления проводятся в начале зимы.

В области вечномерзлых грунтов, чем раньше с началом устойчивого сезонного промерзания устанавливается снежный покров, чем больше и

равномернее скорость накопления снега зимой, тем больше его влияние на качественные особенности сезонного промерзания. Наименьшее влияние снег оказывает в том случае, когда большую часть зимы его высота незначительна и резко возрастает в конце зимнего сезона.

5.1.21Одним из приемов регулирования качественных показателей сезонного промерзания и протаивания может служить изменение состава грунтов: торфа на песок, песка на суглинок и т.д. Это оказывает существенное влияние на температуру грунтов, особенно в сочетании с изменением термического сопротивления снежного покрова.

5.2 Регулирование количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов.

5.2.1 Основных, количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов три: длительность календарного ($T_к$) или фактического периода проявления промерзания или протаивания, их скорость протекания (v) и глубина (h).

5.2.2 Целью регулирования количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов является изменение их значений до требуемых.

5.2.3 Регулирование количественных показателей сезонного промерзания и протаивания, как и качественных, сводится к увеличению или уменьшению теплоприхода в грунт или теплорасхода из грунта или разнонаправленному изменению летнего прогрева и зимнего охлаждения грунта одновременно, изменению сроков смены теплоприхода в грунт на теплорасход из него и наоборот.

5.2.4 Следует учитывать, что любые мероприятия, проводимые в целях изменения только качественных особенностей сезонного промерзания и протаивания грунтов (п.п. 5.1.), неизбежно приводят к изменению или отдельных количественных показателей данных процессов, или их комплекса. Чем существеннее качественные преобразования процессов, тем больше меняются их количественные показатели, что может оказаться нежелательным. Практически любые измерения прогрева и охлаждения грунта приводят к изменению тех или иных количественных показателей, независимо от того, меняются или нет качественные градации данных процессов.

5.3 Регулирование дат начала сезонного промерзания и протаивания грунтов и длительности периода их проявления.

5.3.1 Регулировать даты начала прямого промерзания или протаивания грунтов можно путем увеличения или уменьшения термического сопротивления покровов или покрытий до полного их удаления в осенний или весенний период. В районах с несистематическим прямым сезонным промерзанием грунтов, где его начало приходится на разные месяцы холодного периода, теплоизоляционные покрытия применяются либо перед похолоданием, либо заранее с осени, если требуется сделать начало промерзания более поздним, или удаляются перед похолоданием, если надо ускорить его начало.

5.3.2 Время запаздывания дат начала сезонного промерзания и протаивания грунтов и эффективность поверхностной теплоизоляции в каждом конкретном случае определяется на основе теплотехнических расчетов, аналогового моделирования и численных методов.

5.3.3 В условиях естественного прогрева и охлаждения грунтов никакие методы регулирования не могут сделать начало прямого промерзания более ранним, чем начало устойчивых отрицательных значений минимальной за сутки температуры воздуха, а прямого протаивания более ранним, чем начало устойчивых положительных значений максимальной за сутки температуры воздуха (за исключением радиационных теплиц и др.). Своевременное применение осенью теплоизоляционных покрытий, увеличение термического сопротивления снежного покрова на локальном участке позволяют существенно задержать начало как неустойчивого, так и устойчивого прямого сезонного промерзания грунтов по сравнению с их естественным началом и с устойчивым переходом к отрицательным значениям не только среднесуточных, но и максимальных за сутки температур воздуха.

Для районов Крайнего Севера рассчитано термическое сопротивление R поверхностной теплоизоляции, при котором можно обеспечить время запаздывания начала прямого сезонного промерзания $\tau_{зп}$ на 3-16 сут:

R, ($м^2°С$)/Вт	0,43	0,86	1,72	2,58	3,44	4,30	5,16
$Н_{сн}$,см	12,5	40	50	75	100	125	150
$Н_{п}$, см	2	4	5	7,5	10	12,5	15
$\tau_{зп}$,сут	3	6	9	11	13	15	16

$Н_{сн}$ и $Н_{п}$ соответственно мощность снега с коэффициентом теплопроводности 0,29 Вт/ (м °С) и толщина пенопласта с коэффициентом теплопроводности 0,004 Вт/(м °С), обеспечивающая определенное термическое сопротивление. Покрытие из полимерных пен в 3-6 раз дешевле пенопластового. Для обеспечения того же $\tau_{зп}$ толщину покрытия из пены следует увеличить в 1,2-1,5 раза по сравнению с покрытием из пенопласта.

В более южных районах, то же $\tau_{зп}$ достигается при меньшемR, а следовательно, при меньшей толщине поверхностной теплоизоляции.

Например, в районе г. Сургута естественные колебания высоты снежного покрова в конце октября - первой декаде ноября от 2-5 до 25-35 см приводят к смещению даты начала устойчивого сезонного промерзания грунтов на 20-25 дней.

В каждом конкретном случае необходимо рассчитать величину термического сопротивления покрова или покрытия, исключающего прямое промерзание грунтов при ожидаемой в октябре - ноябре данного года минимальной температуре воздуха или при минимальном ее значении в эти месяцы за требуемый многолетний период.

5.3.4 Задержать начало прямого сезонного протаивания грунтов на месяц и более можно теми же методами, что и начало прямого промерзания, но применяя покрытия или увеличивая термосопротивление снежного покрова в конце зимы - начале весны. Чем дольше сохраняется теплоизоляция и больше ее термосопротивление, тем позднее начинается прямое протаивание грунтов.

В районах Крайнего Севера время запаздывания начала прямого сезонного протаивания $\tau_{зп}$ под поверхностной теплоизоляцией в зависимости от ее термического сопротивления R приближенно составляет:

R, ($м^2$*°C)/Вт	0,43	0,86	1,72	2,58	3,44	4,3	5,16
$\tau_{зп}$, сут	9	17	30	41	52	60	66

Настил из бревен диаметром 15-20 см с заделкой щелей мхом задерживает начало прямого сезонного протаивания грунтов примерно на 20 сут. В более южных районах, для того же $\tau_{зп}$ требуется большее термическое сопротивление поверхностной теплоизоляции.

5.3.5 Начало возвратного сезонного промерзания и протаивания можно регулировать, изменяя температуру грунтов в зоне с нулевыми годовыми колебаниями t_o (или на подошве СТС) $t_д$ теми же методами, которые применимы для изменения качественных градаций этих процессов (см. раздел 5.1.). Значения t_o,°C, критические для возвратного сезонного промерзания:

$t_o < -5$ - возвратное промерзание начинается раньше прямого;

$-5 < t_o < -4$ - одновременно с прямым;

$t_o > -4$ - позднее, чем прямое.

Значения t_o, °C, критические для возвратного протаивания:

$t_o > 5$ - возвратное протаивание начинается раньше прямого;

$5 > t_o > 4$ - одновременно с прямым;

$t_o < 4$ - позднее прямого.

Изменение начала возвратного сезонного промерзания по сравнению с началом прямого вызывает изменение особенностей льдообразования в сезоннокриогенных грунтах, их криогенного строения, а вместе с этим

динамики комплекса криоаградационных и криодеградационных процессов, обусловленных сезонным промерзанием и протаиванием грунтов.

5.3.6 Общим календарным периодом двунаправленного промерзания или протаивания грунтов называется период, ограниченный сроком (датой) начала наиболее ранней и окончания наиболее поздней качественной градации данного процесса.

5.3.7 Календарным периодом проявления любой качественной градации сезонного промерзания или протаивания называется период, ограниченный сроками (датами) ее начала и окончания. Это возможный период ее проявления, но возможность не всегда полностью реализуется.

5.3.8 Регулировать длительность календарного периода сезонного промерзания или протаивания грунтов можно путем изменения сроков начала и окончания данных процессов, увеличивая или уменьшая термическое сопротивление покровов и покрытий в начале и в конце их проявления.

5.3.9 Для регулирования длительности периода фактического проявления прямого сезонного промерзания и протаивания, изменение которого более важно, чем календарного, необходимо изменять не только даты начала и окончания этих процессов, но и структуру календарного периода их проявления.

Сезонное промерзание (протаивание) грунтов не всегда идут непрерывно в течение календарных периодов их проявления. Под влиянием ряда причин (оттепели, снегопады или похолодания, заморозки) эти процессы могут временно не проявляться, останавливаться, а также на некоторое время промерзание сменяться протаиванием или наоборот. Эти особенности определяют структуру календарных периодов их проявления за каждый год и за многолетний период.

5.3.10 Структура календарного периода устойчивого сезонного промерзания (протаивания) грунтов называется простой при равенстве периодов календарного и фактического проявления этих процессов на протяжении 30 лет.

Структура календарного периода сезонного промерзания (протаивания) грунтов называется переходной, если за 30 лет она бывает не только простой однокомпонентной, но и двухкомпонентной из-за временных остановок процесса. Она разделяется на: переходную северную и переходную южную с разными критериями для сезонного промерзания и протаивания. Если за 30 лет число сезонов с простой структурой календарного периода равно или больше числа сезонов с двухкомпонентной, структура сезонного промерзания называется переходной северной, а сезонного протаивания - переходной южной. При превышении за тот же период числа сезонов с

двухкомпонентной структурой, структура сезонного промерзания называется переходной южной, а сезонного протаивания - переходной северной.

5.3.11 Структура календарного периода сезонного промерзания (протаивания) грунтов называется сложной, если она на протяжении 30 лет двух- и трехкомпонентная.

5.3.1 Структура календарного периода данных процессов определяется по материалам ежедневных наблюдений за их ходом в течение репрезентативного или требуемого многолетнего периода. Раздельно изучается структура календарного периода прямого и возвратного сезонного промерзания и протаивания. Особенно сложно выявить структуру календарного периода возвратного промерзания грунтов; из-за малой, в основном, его скорости для этого не всегда пригоден мерзлотомер Данилина, не дают желаемого результата многоразовые замеры мощности протаявшего горизонта на маркированных участках. Более результативны ежедневные наблюдения за температурой грунта при частом (через 2-3 см) расположении датчиков в нижнем горизонте грунтов, подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию.

5.3.13 Проведение длительных ежедневных наблюдений за ходом сезонного промерзания и протаивания грунтов при освоении территории практически невозможно. Короткопериодные 3-5-летние ежедневные наблюдения дают представления о структуре календарного периода этих процессов за данный 3-5-летний период. Сопоставление ее особенностей за этот период на регулируемом участке и на участке АГМС, ГМС, болотных, мерзлотных станций, постов или стационаров (если они есть на исследуемой территории или по соседству и располагают многолетними данными о ходе сезонного промерзания и протаивания), позволяет приближенно судить о ее особенностях за требуемый многолетний или репрезентативный период на исследуемом участке.

5.3.14 Важно знать косвенные показатели, позволяющие приближенно судить о структуре календарного периода сезонного промерзания и протаивания грунтов. Косвенным показателем структуры этого периода можно считать температуру грунтов в зоне с нулевыми годовыми колебаниями t_o или среднегодовую температуру на подошве деятельного (СТС) слоя $t_д$, так как они практически одинаковы.

Ориентировочно критическими для структур календарных периодов можно считать следующие значения t_o или $t_д$ °С:

прямого сезонного промерзания:

$t_o < -5$ - простая;

$-5 < t_o < -4$ - переходная северная;

$-4 < t_o < -1$ - переходная южная;

$-1 < t_o < 1$ - двухкомпонентная;

$1 < t_o < 4$ - промежуточная северная;
$4 < t_o < 5$ - промежуточная южная;
$t_o > 5$ - трехкомпонентная;
возвратного сезонного промерзания:
$t_o < -5$ - трехкомпонентная;
$-5 < t_o < -4$ - промежуточная;
$-4 < t_o < -1$- двухкомпонентная;
прямого сезонного протаивания:
$t_o < -5$ - трехкомпонентная;
$-5 < t_o < -4$ - промежуточная северная;
$-4 < t_o < -1$ - промежуточная южная;
$-1 < t_o < 1$ - двухкомпонентная;
$1 < t_o < 4$ - переходная северная;
$4 < t_o < 5$ - переходная южная;
$t_o > 5$ - простая;
возвратного сезонного протаивания:
$t_o < 1$ - трехкомпонентная;
$1 < t_o < 4$ - промежуточная;
$t_o > 4$ - двухкомпонентная.

5.3.15 Требуемую структуру календарного периода прямого или возвратного промерзания или протаивания можно обеспечить, изменив температуру грунта в зоне с нулевыми годовыми амплитудами до значений, критических для данной ее градации. Структуру можно считать устойчивой, если экстремальные значения t_o за требуемый период не выходят за пределы, критические для той или иной градации структуры календарного периода прямого или возвратного промерзания или протаивания (см. п.п. 5.3.14.).

Методы регулирования структуры календарного периода сезонного промерзания и протаивания те же, что и качественных градаций этих процессов: изменение термосопротивления поверхностных покровов и покрытий, влажности, состава сезоннопромерзающего и протаивающего грунта, создание затененных или открытых участков и т.д.

В тех случаях, когда требуется изменить структуру календарного периода сезонного промерзания грунтов, необходимо знать изменение температуры воздуха за холодный период года, а для изменения структуры календарного периода сезонного протаивания изменение температуры воздуха за теплый период года. На регулируемом участке следует применять покровы и покрытия с таким термическим сопротивлением, которое может обеспечить проявление этих процессов лишь при определенной температуре воздуха. Например, увеличить их термосопротивление так, чтобы

промерзание грунтов не проявлялось не только в дни глубоких оттепелей с положительной температурой воздуха, но и с определенной отрицательной.

5.4 Регулирование скорости и глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов.

5.4.1 Скорость прямого сезонного промерзания и протаиванця грунтов можно регулировать, изменяя термосопротивление покровов и покрытий, уменьшая или увеличивая затенение поверхности, влажность-льдистость грунтов, изменяя их состав. Наибольший интерес представляет регулирование не средней календарной скорости, определяемой как частное от деления мощности протаивающих или промерзающих за сезон грунтов на календарный период прямого сезонного протаивания или промерзания, а фактической скорости этих процессов. Среднее за сезон значение фактической скорости протаивания (промерзания) определяется как частное от деления мощности мерзлого (талого) грунта, протаивающего (промерзающего) за данный теплый (холодный) период на длительность периода фактического проявления прямого сезонного протаивания (промерзания).

5.4.2 Наибольших значений фактическая скорость, как прямого промерзания, так и протаивания в естественных условиях достигает в первую половину периода проявления этих процессов. Для уменьшения скорости нужно применять дополнительную теплоизоляцию с начала холодного или теплого периода соответственно, а для увеличения скорости прямого сезонного промерзания грунтов нужно с декабря по февраль включительно удалять снег или создавать на регулируемом участке условия, исключающие его накопление. Для увеличения скорости прямого протаивания рекомендуется уменьшать затененность поверхности, удалять напочвенный покров, особенно моховой или торфяной.

5.4.3 О влиянии этих мероприятий на скорость данных процессов можно судить по прогнозным расчетным значениям глубины прямого сезонного промерзания и протаивания при соответствующем нарушении природной обстановки.

Судя по глубине промерзания, удаление снежного покрова приводит к возрастанию средней календарной скорости промерзания суглинков с влажностью 15% в 2 раза по сравнению с ее значением при минимальном снегонакоплении и в 4-4,5 раза, при максимальном. Увеличение снегонакопления до максимального приведет к соответствующему уменьшению средней скорости прямого промерзания.

Скорость прямого сезонного протаивания, при замене торфа на суглинок с влажностью 35% и при наличии мохового покрова, возрастает в 1,5-2 раза, а при замене мохового покрова на дерновый и уменьшении влажности суглинка до 30% - в 2-2,5 раза. Противоположная замена напочвенного покрова и состава грунта вызовет соответствующее уменьшение скорости прямого протаивания грунтов.

5.4.4 Глубина прямого сезонного промерзания и протаивания грунтов - единственный количественный показатель этих процессов, более или менее детально изученный к настоящему времени. Разработаны расчетные методы определения и прогноза изменения этого показателя при нарушении природных условий. Они нередко называются методами расчета и прогноза не глубины прямого сезонного промерзания и протаивания грунтов, а мощности сезонно-талого (СТС) и сезонно-мерзлого (СМС) слоя. Расчетные методы, применение гидроинтегратора и ЭВМ позволяют определить именно глубину прямого сезонного протаивания в области близко залегающих вечномерзлых грунтов, если при этом не учитывается осадка мерзлых грунтов при сезонном протаивании. Вне этой области данными методами определяют глубину прямого сезонного промерзания грунтов, а не мощность СМС, если не учитывается величина их пучения при промерзании.

5.4.5 Глубина сезонного промерзания соответствует мощности горизонта талых грунтов, промерзающих за холодный период года. В настоящее время, вне области вечномерзлых грунтов, она неоправданно отождествляется с мощностью сезонно-мерзлого слоя (СМС), превосходящей глубину сезонного промерзания на величину пучения грунтов при промерзании.

Мощность сезонно-мерзлого слоя соответствует глубине сезонного протаивания в следующий теплый период года, если не сохраняется остаточного горизонта сезонно-мерзлых грунтов, называемого перелетком. Глубина сезонного промерзания талых грунтов здесь в любой год равна разнице между мощностью сезонно-мерзлого слоя и величиной криогенного пучения слагающих его грунтов.

При освоении территории без вечномерзлых грунтов, учитывается не глубина сезонного промерзания (СП 22.13330.2016), а мощность сезонно-мерзлого слоя.

5.4.6 Различают несколько видов глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов, определяемых по-разному. Практически до сих пор в области вечномерзлых грунтов вместо любого вида глубины сезонного протаивания используются сведения о том же виде мощности сезонноталого слоя, а вне этой области - данные о том же виде мощности сезонно-мерзлого слоя. Глубина сезонного промерзания (протаивания) - это полная глубина проявления данного процесса в грунтах за данный год. Понятия

максимальная, средняя и минимальная глубина применимы лишь при характеристике пространственно-временной вариации этого показателя, т.е. когда имеется или многолетний ряд данных о его значениях, или данные за один год или другой сравнимый период по нескольким точкам.

5.4.7 Глубину сезонного промерзания и протаивания грунтов в ненарушенных природных условиях следует называть естественной, а в условиях, нарушенных в целях эксперимента или при освоении территории, - экспериментальной или экзогенной глубиной проявления этих процессов.

5.4.8 Нормативная глубина сезонного протаивания грунтов определяется как наибольшая его глубина за период не менее 10 лет на участках близко залегающих вечномерзлых грунтов, лишенных растительного и торфяного покрова, с которых весной удаляется снег.

5.4.9 Нормативная глубина сезонного промерзания грунта принимается равной средней из ежегодных максимальных глубин сезонного промерзания грунтов за период не менее 10 лет на открытой, оголенной от снега горизонтальной площадке при уровне подземных вод, расположенном ниже глубины сезонного промерзания грунтов (СП 22.13330.2016).

Разная организация наблюдений при определении нормативной глубины промерзания и протаивания и разные значения глубины этих процессов, принимаемые за нормативные, делают необходимым уточнение, как определения этих понятий, так и методики определения.

Нормативной правильнее считать максимальную за репрезентативный (30 лет) или требуемый период глубину как сезонного протаивания, так и сезонного промерзания при одинаковых требованиях к организации опытных площадок: горизонтальные, лишенные снега, растительного и торфяного покрова.

За 30 лет практически проявляется все природное многообразие летних и зимних погодных условий, влияющих на глубину сезонного промерзания и протаивания грунтов.

5.4.10 Методы регулирования глубины прямого сезонного промерзания и протаивания грунтов те же, что и качественных градаций этих процессов, но регулирование разных видов этого показателя проводятся разными методами. Практически нельзя регулировать естественную их глубину, поскольку любые нарушения природной обстановки делают ее не естественной, а экспериментальной. Нормативную глубину можно регулировать, лишь изменяя состав и влажность грунтов, поскольку отсутствие снежного покрова и растительности, включая напочвенный покров и торфяной горизонт, оговорено в определениях понятий нормативная глубина сезонного протаивания и промерзания.

5.4.11 Изменение затененности поверхности в зависимости от характера напочвенного покрова, влажности грунта, условий снегонакопления, особенностей теплого и холодного периода позволяет изменить глубину сезонного прямого протаивания грунтов на 10-90% и более. Влияние затененности возрастает с уменьшением сумм градусо-часов (теплового импульса) теплого периода и влажности грунтов и уменьшается с их увеличением.

5.4.12 Изменение снегонакопления от минимального до максимального и наоборот позволяет увеличивать или уменьшать глубину прямого сезонного протаивания в среднем на 10-70% в зависимости от теплового импульса теплого и холодного периода, характера напочвенного покрова, затененности и влажности грунта. Влияние снегонакопления возрастает с увеличением прогрева и охлаждения поверхности, с уменьшением влажности грунтов, особенно при наличии мохового покрова. Согласно расчетам, наименьшее значение, как регулятор глубины прямого сезонного протаивания, снегонакопления имеет на оголенных от растительности поверхностях: изменение его от минимального до максимального обусловливает изменение глубины протаивания не более чем на 40%, в основном менее 20%.

5.4.13 Действенным регулятором глубины прямого сезонного протаивания грунтов является растительный покров. Изменяя его, можно изменить глубину проявления этого процесса, в среднем на 30-55% в зависимости от прогрева поверхности, характера напочвенного покрова, снегонакопления, испарения (транспирации, т.е. испарения влаги растительностью) и влажности грунтов.

5.4.14 Существенное влияние на сезонное промерзание и протаивание оказывает увлажненность (льдистость) грунтов, изменяя которую, можно регулироватьглубину проявления этих процессов.

5.4.15 Применяя тот или иной метод изменения конкретного количественного показателя сезонного промерзания и протаивания грунтов, необходимо учитывать возможное его воздействие на другие показатели, включая качественные. Ограничиваться оценкой его влияния на один какой-либо показатель допустимо лишь в том случае, если изменения других показателей при этом не имеют значения. В остальных случаях должно определяться изменение всех основных показателей этих процессов, начиная с качественных, изменение которых может привести к нежелательным последствиям.

5.4.16 При регулировании качественных и количественных показателей сезонного протаивания грунтов в области близкого залегания сильнольдистых вечномерзлых толщ необходимо следить за тем, чтобы глубина сезонного протаивания грунтов не превысила ее критическое

значение, равное или превышающее глубину промерзания (с образованием талика) у инженерных сооружений. Это может привести к началу деградации вечной мерзлоты и развитию термокарста, что приводит к долговременной потере устойчивости инженерным сооружением. В частности, толщина критического слоя стоячей (не текущей) воды $H_{кр}$, под которым в природных условиях Севера ещё может образовываться и поддерживаться вечная мерзлота составляет в среднем:

0,4-0,6*м для северной подзоны практически сплошного распространения;

0,2-0,4м для центральной подзоны в основном сплошного распространения;

0,1-0,2м для южной подзоны сплошного, прерывистого и островного распространения [2, 18, 19, 20].

*Большие значения границ интервала, принимаются для северных границ подзон, меньшие для южных.

5.4.17 Теплопроводность льда практически в 4 раза больше теплопроводности воды, при этом теплоёмкость льда в 2 раза меньше теплоёмкости воды. В результате, кондуктивная температуропроводность льда в 8 раз больше кондуктивной температуропроводности воды. Поэтому изменения температуры во льду и льдонасыщенных мёрзлых грунтах распространяются быстрее, чем в воде и немёрзлых грунтах (при кондуктивной теплопроводности). Перенос тепловой энергии или тепла в грунтах может происходить путём кондукции, конвекции (массопереноса) и радиации. Из них лишь кондукция и конвекция имеют значение для большинства решаемых инженерных задач. Если вода, присутствующая в грунте (материале), полностью замерзает (или переводится в гелеобразное состояние), кондукция будет преобладающим механизмом, а возможностей для массопереноса и сопутствующего конвективного переноса тепла практически не будет. Если же грунт и вода являются незамёрзшими, то существует возможность для конвективного переноса тепла в сочетании с массопереносом. Последнее может значительно превышать кондуктивную теплопроводность.

5.4.18 При назначении граничных условий для водной поверхности рекомендуется различать два случая в зависимости от глубины воды [17]:

1) при глубине воды $H_{кр}$ и менее за граничное условие на её поверхности следует принимать среднюю за расчётный период температуру воздуха (с необходимыми поправками, на глобальное потепление и др.). При этом слой воды рассматривается, как твёрдое тело. Коэффициент теплопроводности данного слоя воды принимается равным 3,0 ккал/(м^2*ч*^{o}С) вместо 0,60 Вт/(м*^{o}К) или ккал/(м^2*ч*^{o}С), как у воды. Этим

учитывается ветровое перемешивание воды и др. (тепломассоперенос), а также поглощение солнечной радиации толщей воды (для открытых водных поверхностей). Для слоя льда коэффициент теплопроводности принимается равным 2,0 ккал/(м^2*ч*^{o}С).

2) при водной толщине глубиной более $H_{кр}$ до полного замерзания воды, до дна, за граничное условие для подстилающей поверхности грунта принимается придонная температура воды. Здесь необходимо учитывать, что наибольшую плотность вода имеет при температуре плюс 4^{o}С. После полного промерзания воды за граничное условие принимается средняя за расчётный период температура воздуха (с необходимыми поправками) на верхней поверхности льда. Замёрзшая вода (лёд), при этом, рассматривается как наложенный на поверхность дна водоёма слой материала с коэффициентом теплопроводности, равным 2,0 ккал/(м^2*ч*^{o}С).

Раздел 6 Регулирование многолетнего протаивания грунтов

6.1 Предварительная оценка развития многолетнего протаивания грунтов и термокарста.

6.1.1 Динамика техногенных таликовых зон и термокарстовых форм определяется инженерно-геокриологической обстановкой, видами техногенных нарушений, конкретными условиями строительства и сроком эксплуатации инженерных сооружений.

6.1.2 В районах распространения низкотемпературных вечномерзлых грунтов (среднегодовая температура грунтов на глубине нулевых годовых амплитуд ниже минус 2°С) развитие многолетнего протаивания и термокарста в результате техногенных воздействий наблюдается преимущественно в зоне непосредственного теплового влияния инженерных сооружений. В районах распространения высокотемпературных вечномерзлых грунтов, где среднегодовая температура грунтов выше минус 2°С, развитие техногенного термокарста происходит не только в зоне непосредственного теплового влияния сооружений, но и при нарушениях естественных условий теплообмена на поверхности и в грунтах, возникающих в процессе инженерной подготовки территории или строительства сооружений (снятие растительного и почвенно-растительного покровов, послойное удаление грунта, обводнение поверхности, увеличение мощности снега до критической и т.д.).

6.1.3 Интенсивное развитие техногенного термокарста наблюдается на участках распространения мономинеральных залежей льда и сильнольдистых ($i_{tot} > 0,4$) грунтов в верхней части вечномерзлой толщи. На участках, сложенных слабольдистыми ($i_{tot} < 0,1$) грунтами, их многолетнее протаивание до глубины 5-10 м не приводит к развитию термокарста.

6.1.4 На участках, где при освоении территории термокарст не развивается, через несколько лет или десятилетий после прекращения техногенных воздействий формируются инженерно-геокриологические условия, близкие к первоначальным. В случаях развития техногенного термокарста исходная природная обстановка не восстанавливается, процесс термокарста может быть стабилизирован с помощью проведения биологической рекультивации или мероприятий тепловой мелиорации, позволяющих регулировать развитие техногенных тепловых осадок.

6.1.5 При проведении подготовительных и строительных работ должен осуществляться геокриологический контроль, обеспечивающий максимально возможную сохранность естественных условий на трассах и промышленных площадках. Для предотвращения развития техногенного термокарста на

участках, где в естественных условиях он не проявляется, необходимо сохранять растительный и почвенный слои. Строительные работы следует по возможности проводить в зимнее или осеннее время (при наличии снежного покрова), чтобы механизмы при передвижении не нарушали растительный покров и верхние слои грунта. Не следует допускать на трассах и стройплощадках накопления снега большой мощности, превышающей критическую. Рекомендуется также обеспечивать на стройплощадках организованный отвод поверхностных вод, способствующих развитию термокарста (на плоских участках) и термоэрозии (на участках, имеющих уклон).

6.1.6. Наиболее интенсивные изменения геокриологических условий, в том числе развитие техногенного термокарста, имеют место в первые годы после нарушения естественной геокриологической обстановки. Это необходимо учитывать при разработке мероприятий по регулированию термокарста.

При проектировании дорожных насыпей и промышленных площадок по основному, II принципу проектирования (п.7.50 СП 34.13330.2012), на участках, сложенных льдистыми грунтами, нижнюю часть дорожной насыпи отсыпают из плохо водопроницаемых (например, глинистых), в том числе и мёрзлых (разрыхлённых) грунтов. Её желательно отсыпать без предварительной расчистки растительного покрова. Верхнюю часть насыпи (толщиной 0,6 – 1,2 м, желательно на геосинтетической прослойке) при этом отсыпают из дренирующих грунтов.

При I-м принципе проектирования, первоначально желательно осуществлять лишь частичную и даже летнюю (не смотря на требования п.3.11.; 4.19.; 4.46., ВСН 84-89) отсыпку части тела дорожной насыпи. При этом обязательно необходимо, чтобы общая толщина частичной зимней или летней отсыпки совместно с временно (в первый год строительства) оттаивающим (и уплотняющимся) верхним слоем мёрзлого основания, составила не более 0,7-0,9 от глубины последующего промерзания данного совокупного (вместе с отсыпкой) талого слоя. Окончательную досыпку насыпи затем преимущественно осуществляют в холодный период, но можно осуществлять и летнюю досыпку. При летней досыпке, мёрзлое грунтовое основание насыпи может ещё раз незначительно дополнительно оттаять с поверхности и дать несущественную осадку (как правило, в среднем до 6 - 8 см). После отсыпки насыпи на полную расчётную высоту I-го принципа, частично оттаявший с поверхности и уплотнившийся слой основания уже больше оттаивать, в основном не будет. И даже если затем, в экстремально тёплый год, основание вновь частично оттает с поверхности, большой и неравномерной осадки не произойдет, так как верхний слой мёрзлого основания уже до этого оттаивал и уплотнился.

6.1.7 При проектировании инженерных сооружений необходимо учитывать не только потенциальную возможность возникновения техногенного термокарста, но и вероятность воздействия на сооружения мигрирующих термокарстовых форм, представляющих отдельную опасность. Миграция термокарстовых озер может постепенно происходить на местности (в сторону уклона) со скоростью до 3-4 м в год, вызывая деформации инженерных сооружений при приближении к ним (ввиду увеличения таликовых глубин оттаивания и развития озёрного термокарста).

6.1.8 Во избежание длительного развития термокарста на льдонасыщенных грунтах не желательно производить летнюю грунтовую отсыпку дорожных насыпей и промышленных площадок толщиной более глубины промерзания. Особенно это опасно делать в центральной и южной подзонах распространения неустойчивой (высокотемпературной, т.е. с t_o более -1,5°С) вечной мерзлоты (подзоны I_2 и I_3 по ВСН 84-89) с использованием для отсыпки нижних частей насыпей водопроницаемых дренирующих грунтов.

6.2 Мероприятия по прекращению многолетнего протаивания грунтов и развития термокарста.

6.2.1 Регулирование процесса многолетнего протаивания грунтов производится с помощью мероприятий водно-тепловой мелиорации. Выбор этих мероприятий, оценка их эффективности и экономичности в каждом конкретном случае производятся с учетом типа инженерного сооружения, на основе знания закономерностей развития сезонно- и вечномерзлых пород. При этом особое значение имеет изучение льдистости и криогенного строения грунтов, поскольку скорость развития термокарста во многом определяется количеством и характером распределения льда в грунте.

6.2.2 Для уменьшения скорости или полного прекращения многолетнего протаивания вечномерзлых грунтов рекомендуется проводить следующие мероприятия:

уменьшение мощности, увеличение плотности снежного покрова или его удаление;

затенение поверхности (насаждение деревьев, кустарников, устройство навесов);

создание теплодиодных (из водоудерживающих, водонасыщенных материалов и грунтов, например, гелей, торфа, глинистых грунтов и т.д.) слоёв, прослоек и покрытий оптимальной толщины;

устройство теплоизоляционных покрытий из высокопористых материалов;

создание насыпей и подсыпок;

дренирование поверхности, устройство организованного водоотвода.

6.2.3 Обоснование целесообразности применения того или иного из перечисленных мероприятий и выбор количественных значений параметров, которые способствуют прекращению процесса многолетнего протаивания (оптимальной мощности и плотности снега, высоты подсыпок и насыпей, материала и толщины теплоизоляционных покрытий, времени их устройства и т.д.) производятся на основе теплофизических расчетов, выполняемых по аналитическим формулам, а также путем математического или аналогового моделирования.

6.2.4 Термическое сопротивление изоляции R определяется из соотношения

$$R = h/\lambda, \qquad (6.1)$$

где h - средняя толщина теплоизоляции, м;

λ - коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/ (м*°С).

В холодный период $R_з$ складывается из термического сопротивления снега $R_{сн}$, напочвенной растительности в мерзлом состоянии $R_м$ и искусственного покрытия в зимний период $R_{из.з}$. В теплый период складывается из термического сопротивления напочвенной растительности в талом состоянии $R_л$ и искусственного покрытия в летний период $R_{из.л.}$.

6.2.5 Коэффициент теплопроводности снега $\lambda_{сн}$, необходимый для расчетаего термического сопротивления, определяется в зависимости от плотности снега $\rho_{сн}$, кг/м^3,

$$\lambda_{сн} = 0{,}021 + 1{,}01*10^{-3}\ \rho_{сн} . \qquad (6.2)$$

При отсутствии экспериментальных данных о плотности снега, значение R может быть ориентировочно определено в зависимости от мощности снега H по рисунку 5.1.

6.2.6 Для прекращения многолетнего протаивания грунтов (преимущественно на низкотемпературной вечной мерзлоте) сравнительно эффективно постоянное глубинное применение покрытий из искусственных теплоизоляционных материалов (пенопласта, пеноплекса и др.). Эти покрытия дорогостоящие и требуют ручной укладки, поэтому целесообразно использовать их для локализации и приостановки термокарста только на участках, наиболее опасных для устойчивости сооружений. Пеноплекс характеризуются значительной механической прочностью, небольшой массой, высокой морозостойкостью, низкой теплопроводностью. Значения коэффициентов теплопроводности различных пенопластовых теплоизоляционных материалов, в среднем, составляют 0,02 – 0,04 Вт/ (м °С). Хороший эффект (на любой мерзлоте) достигается, когда данные

теплоизоляционные покрытия используют только в теплый период, а перед установлением устойчивых отрицательных температур теплоизоляцию, для обеспечения очередного подмораживания их удаляют с поверхности.

6.2.7 Покрытия из естественных материалов, применяемые для уменьшения глубины сезонного и многолетнего протаивания, также достаточно эффективны. В качестве теплоизолирующего материала могут быть использованы различные настилы, торф, дерн, мохово-лишайниковые покровы. Так, на севере Западной Сибири частично проветриваемый зимой бревенчатый настил с заделкой щелей мхом уменьшил глубину сезонного протаивания на нарушенных участках с 0,5-0,8 до 0,1-0,15 м.

В районе р. Пунги, близ южной границы распространения вечномерзлых грунтов, глубина сезонного протаивания на участке настила (спиленные стволы деревьев, дерн) в первый тёплый сезон уменьшилась вдвое (с 0,8 до 0,4 м).

6.2.8 Отсыпку нижней части насыпи (1,0 - 1,5 м) следует производить зимой с тем, чтобы сохранить теплоизолирующий мохово-растительный покров, а досыпку насыпи до проектной величины летом. При строительстве насыпи в летний период отсыпку следует производить "пионерным" способом (т.е. с отсыпкой с «головы»). В нижней части дорожной насыпи рекомендуется применение слоя (экрана) из глинистого грунта, вместо дренирующей подсыпки, для уменьшения отепляющего воздействия теплых летних осадков и задействования охлаждающей температурной сдвижки в среднем, от - 0,6 до - 1,4°С (ввиду включения механизма природного «теплового диода» и предотвращения инфильтрационной тепловой сдвижки).

6.2.9 Особенно сложно предотвратить многолетнее протаивание на высокотемпературных (с среднегодовой отрицательной температурой более минус 1,5°С) высокольдистых ($i_{tot} \geq 0,4$) грунтах и торфяниках, где техногенный термокарст проявляется весьма активно. Для предотвращения или стабилизации техногенного термокарста и термоэрозии на этих участках необходимо проводить инженерную подготовку территории. Термокарстовые понижения, а также полигональные трещины следует засыпать дерном, мхом, торфом и водонепроницаемыми глинистыми грунтами. Регулируя толщину слоя такой отсыпки, можно предотвратить протаивание льдистых грунтов в летнее время.

6.3 Мероприятия обеспечивающие или вызывающие многолетнее протаивание вечномёрзлых грунтов.

6.3.1 Для увеличения скорости многолетнего протаивания грунтов (вплоть до полного протаивания льдистого горизонта) и интенсификации термокарста рекомендуются следующие мероприятия:

- увеличение мощности снега до критической, т.е. до величины, обеспечивающей переход сезонного протаивания в многолетнее;
- снятие растительного и почвенного покровов;
- уменьшение затененности поверхности;
- создание искусственных покрытий и пленок;
- создание искусственных водоемов, глубина которых превышает критическую, т.е. обеспечивающую формирование положительной температуры донных отложений;
- послойное удаление оттаявшего грунта;
-применение дополнительных источников тепла (электрогрелки, парооттайка, гидрооттайка и др.).

6.3.2 Различные мероприятия оказывают на регулируемый процесс не только прямое, но и косвенное воздействие. Снятие растительного и почвенного покровов являющихся теплоизоляционным или теплодиодным слоем, вызывает повышение температуры грунтов вследствие не только увеличения теплоприхода через поверхность в летний период, но и часто вследствие увеличене в выемке высоты снежного покрова; создание насыпей помимо воздействия на температуру грунтов уменьшает высоту снежного покрова и т.д.

Эффективность влияния различных мероприятий на сезонное и многолетнее протаивание грунтов неодинакова в геокриологических зонаххарактеризующихся различными среднегодовыми температурами вечномерзлых грунтов. Например, снятие растительного покрова вызывает увеличение глубины сезонного протаивания в северной подзоне, в среднем, на 10% (по сравнению с естественными условиями), а в южной подзоне эта величина возрастает до 40%.

6.3.3 Мероприятия, предусматривающие использование дополнительных источников тепла, являются наиболее быстродействующими, но дорогостоящими. Эффективность применения существующих методов оттаивания вечномерзлых грунтов в каждом конкретном случае определяется инженерно-геокриологическими условиями участка и климатическими особенностями. В районах, характеризующихся континентальным климатом, с высоким уровнем солнечной радиации в летнее время целесообразно для оттаивания вечномерзлых грунтов применять методы, основанные на использовании тепла солнечной радиации. В районах, где верхние горизонты вечномерзлых грунтов сложены преимущественно крупнодисперсными грунтами, наиболее эффективны методы оттаивания, связанные с использованием тепла поверхностных

тёплых фильтрующихся вод (но не холодных, подземных надмерзлотных) и т.д.

6.3.4 Технология проведения работ при послойном удалении грунта, тепло- и энергозатраты при использовании дополнительных источников тепла (электрогрелки, паровое иглооттаивание, гидрооттаивание и др.) определяются специальными теплотехническими расчетами.

Таблица 6.1 - Виды техногенных механических нарушений поверхности в области вечной мерзлоты и их причины

Вид	Причины
1. Уплотнение и повреждение растительного покрова, уплотнение снежного покрова	Проезд тяжёлого транспорта, планировочные строительные работы
2. Уничтожение растительного, расчистка снежного покрова	Движение тяжёлого строительного транспорта, особенно весной и летом, устройство просек, расчистка снега на дорогах, снятие растительного покрова на полосах отвода и стройплощадках, интенсивный выпас животных, пожары и т.д.
3. Снятие растительно - почвенного покрова, разработка торфяников, оголение минерального грунта	Строительные работы с планировкой местности, сельскохозяйственное освоение территории с вырубкой и раскорчёвкой леса, распашкой земли
4. Удаление и перераспределение грунта, покрытие территории водой или осушение поверхности	Интенсивное строительство с проведением массовых земляных работ, отсыпкой насыпей, площадок, дамб и т.д. , устройство дренажных, водоотводных и оросительных систем, проведение горных работ открытым способом, дражные полигоны, водохранилища

6.3.5 Для приближенных оценок целесообразности удаления растительного и почвенного слоев, уменьшения затененности поверхности, определения критических мощностей снежного покрова, глубины искусственных водоемов, термического сопротивления искусственных покрытий используются различные методики теплотехнических расчётов для определения возникающих при этом глубин оттаивания.

6.3.6 Техногенные нарушения поверхности ведут к изменениям свойств элементов, составляющих биогеоценоз, или к изъятию отдельных его элементов из системы взаимодействия. Основные виды техногенных нарушений поверхности в области вечной мерзлоты и наиболее частые причины, их вызывающие приводятся в таблицах 6.1, 6.2.

Таблица 6.2 - Естественные факторы, действующие на усиление или деградацию вечной мерзлоты и ориентировочная степень их воздействия

Действующие факторы	Степень влияния на среднегодовую температуру поверхности (или основания) слоя сезонного оттаивания грунта
1	2
1.Увеличение отражающей способно- сти (альбедо) поверхности на 10-20% (например, среднее альбедо мари – 23% , щебёночного покрытия – 12% , зачернённой и а/б поверхности – 6%). Уменьшение отражающей способности, соответственно повышает.	Понижает (охлаждает) на 1 - 2°С.
2. Изменение естественных условий инсоляции (в виде усиления радиационного нагрева откосов в зависимости от крутизны угла их наклона, особенно на южной стороне)	Повышает (отепляет) на 1,0 - 1,5°С на юго-западных и юго-восточных, и до 2-3°С на южных склонах с заложением 1:1,5 и 1:1.
3.Устройство каменной наброски на откосах насыпей, толщиной 0,8-1,2м из фракций 20-40см и более. Особенно на южных откосах, насыпей и выемок.	Понижает на 0,8 - 1,5°С.
4.Устройство естественно вентилируемых слоёв из фракций 20-40см и более, толщиной 1,0-2,0м или вентиляционных труб, диаметром 40 см и более, через 2-4м в нижних частях насыпных линейных инженерных сооружений (насыпей железных и автомобильных дорог, дамб и т.д.).	Понижает: фракционный слой на 1,0-1,5°С; вентиляционные трубы на 1,5-2°С.
5.Устройство проветриваемых солнце и осадко защитных навесов и др.	Понижает на 3,0 - 4,0°С, и на южных откосах до 5,0-6,0°С
6.Устройство теплодиодных слоёв (например, из влажного глинистого грунта, торфоглинистых смесей,водонасыщенных слаборазложившегося торфа, прослоек из геосинтетических материалов, криогелей с грунтовыми заполнителями и др.). 6а. Устройство постоянной во времени (многолетней) не теплодиодной теплоизоляции (из шлаков, шламов, пенопластов и др.), наоборот оказывает отепляющее воздействие на вечную мерзлоту, препятствуя её зимней подзарядке холодом	Понижает: глинистыми грунтами на 0,6-0,8°С; торфоглинистыми смесями 0,8-1,2°С; водонасыщенными торфами на 1,5-2,0°С. Повышает: на 1,2-1,3 °С

Окончание таблицы 6.2

1	2
7.Обеспечение удаления зимой с поверхности сооружения снежного покрова (снегоочисткой или созданием условий снегонезаносимости и др.).	Понижает на 2,5 - 3,5°С.
8.Образование снежного покрова толщиной: до 30 – 50 см до 70 – 90 см и более (при этом выпадение около 15-20 см снега в самом начале холодного периода, до начала сильных морозов, теплоизолирует практически одинаково, как постепенное нарастание снежного покрова до 50 см и более, но к концу зимы).	Повышает на 2,0 - 3,0°С; 4,0 - 5,0°С.
9.Инфильтрация тёплых летних дождевых осадков в тело насыпи из дренирующего грунта (например, 250-300 мм/м^2 с температурой 15°С).	Повышает на 1,5 - 2,0°С.
10.Конденсация водяных паров в порах (пустотах) оттаивающего дренирующего грунта (например, конденсация 10 дм^3 воды в 1 м^3 грунта).	Повышает на 1,5 - 2,0°С.
11.Удаление лесного покрова.	Повышает на 1,0 - 1,5°С.
12.Удаление растительного или мохо-растительного покрова.	Повышает на 1,0 - 2,0°С.
13.Устройство растительного покрова	Понижает на 0,8 - 1,2°С.

*По обобщённым данным А.В.Кудрявцева, Н.А.Перетрухина, А.А.Цернанта, А.В.Павлова, Ю.Л.Шура, В.П.Чернядьева, Н.И.Шендера, В.Г.Кондратьева, О.Д.Андерсленда и др., а также согласно натурных наблюдений Тындинской мерзлотной станции (ТМС), Института мерзлотоведения СО АН СССР и др.

Раздел 7. Расчётные методики прогнозирования тепловой и общей устойчивости дорожных сооружений

7.1 Экспресс критерий определения тепловой устойчивости.

Устойчивость (механическая) дорожной насыпи обеспечивается её высотой, при которой верхний горизонт вечномёрзлых грунтов (ВГВМ) будет сохраняться на расчётный период в критические по балансу тепла годы (1 раз в 11 и/или 30 лет) на требуемой (допустимой) глубине. Общая (многолетняя) прогнозная эксплуатационная осадка (за вычетом морозного поднятия) дорожной насыпи при этом в оттаявшие грунты основания не должна превосходить допустимой нормативной величины [1,2,26].

Механическая устойчивость насыпного сооружения на многолетнемёрзлых грунтах в первую очередь зависит от долговременной тепловой устойчивости мёрзлого грунтового основания, которую необходимо проверять (рассчитывать) на прогнозный период работы (эксплуатации) проектируемого инженерного сооружения в условиях происходящего и прогнозируемого на ближайшие 50-100 лет глобального потепления климата.

Экспресс критерий позволяет предварительно, сравнить естественное условие тепловой устойчивости вечной мерзлоты в природных условиях с после строительными условиями существования мёрзлого основания под насыпными инженерными сооружениями (дорожными насыпями, промышленными площадками, дамбами и т.д.) на ММП и определяется как:

$$I = \frac{|\Omega_м|}{\Omega_т} \geq 1{,}3\Sigma R_{ат}/\Sigma R_{ам}, \qquad (7.1)$$

где I - климатический мерзлотный индекс (рассчитываемый с учётом текущего и прогнозируемого глобального потепления);

$\Omega_м$ – сумма годовых отрицательных градусо-часов температур воздуха (илиповерхности);

$\Omega_т$ – сумма годовых положительных градусо-часов температур воздуха (или поверхности);

$\Sigma R_{ат}$ и $\Sigma R_{ам}$ – общие (суммарные) температуропроводные сопротивления конструктивных и оттаивающих грунтовых слоёв, соответственно в талом и мёрзлом состояниях.

$$\Sigma R_{ат}(\Sigma R_{ам}) = h_1/a_1 + h_2/a_2 + \ldots + h_п/a_п + 1/\alpha, \qquad (7.2)$$

где $h_1 \ldots h_n$ – толщины слоёв многослойной конструкции с соответствующими коэффициентами температуропроводности $a_1 \ldots a_n$.

Сопротивлением теплопередачи поверхности в холодный и тёплый периоды $R_п = 1/\alpha$ можно пренебречь, ввиду практически близких значений в числителе и знаменателе формулы (7.1), а также их незначительности, α – коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности грунта или дорожного покрытия, в среднем равный 20-23 Вт/(м^2 °С) или 17-20 ккал/(м^2· ч· °С).

Для учёта протекающего глобального потепления, происходящего на территории Севера РФ, преимущественно за счёт потепления зимних периодов, в среднем на 3-5°С, прогнозную среднезимнюю отрицательную температуру воздуха необходимо повышать (вычитанием из среднезимней) на 3 – 5°С.

Пример расчета тепловой устойчивости дорожных сооружений приведен в приложении Б.

7.2 Оценка тепловой устойчивости дорожных сооружений.

Детальная оценка дорожных сооружений на тепловую устойчивость выполняется по условию 7.10, с последовательным расчетом необходимых составляющих.

7.2.1 Расчет глубин промерзания-оттаивания.

Глубины промерзания и оттаивания слоев конструкции дорожной насыпи и ее основания могут определяться по формулам 7.3 и 7.6:

$$H_{om} = \frac{2\sqrt{\tau_{om}}}{L_v}\sqrt{\lambda_{mi} T_{max}\left(\frac{L_v}{3} + 0{,}13 T_{max} C_{mi}\right)}\,, \qquad (7.3)$$

где H_{om} – глубина сезонного оттаивания многослойной конструкции, м;

τ_{om} – продолжительность периода оттаивания, час;

λ_{mi} – коэффициент теплопроводности материала (грунта) в талом состоянии, Вт/(м·°С) или ккал/(м·час·°С);

C_{mi} – объёмная теплоёмкость талого грунта, кДж/(м^3·°С) или ккал/(м^3·°С);

T_{max} – среднемесячная температура воздуха за самый тёплый летний месяц, °С**;

L_v – количество скрытой теплоты фазовых переходов влаги в 1 м^3;

$$L_v = L_o(W_{tot} - W_w)\rho_d = L_o \rho \frac{Wtot - Ww}{Wtot + 1}\text{, кДж/м}^3\text{ (ккал/м}^3\text{)}, \qquad (7.4)$$

где L_o – скрытая теплота льдообразования (равная 334 кДж/кг или 80ккал/кг);

W_{tot} – суммарная влажность грунта, дол.ед.;

W_w – содержание незамёрзшей воды (в данной методике W_w для упрощения, принимается равной нулю, как при оттаивании, так и при промерзании, что уравновешивает затраты на фазовые превращения воды), дол.ед.;

ρ_d – плотность сухого(скелета) грунта, кг/м^3;

ρ – плотность (объёмная) грунта, кг/м^3.

Расчётная суммарная влажность грунтов W_{tot} при минимальном коэффициенте уплотнения 0,90 (СНиП 2.05.02-85 Приложение 2 таблица 12) составляет:

- пески пылеватые, супесь песчанистая и пылеватая – $W_{tot} = 1{,}6W_{opt}$;
- суглинок лёгкий песчанистый и пылеватый – $W_{tot} = 1{,}5W_{opt}$;
- суглинок тяжёлый песчанистый и пылеватый, глина – $W_{tot} = 1{,}3W_{opt}$,

где W_{opt} – оптимальная влажность грунта(по ГОСТ 22733-2002).

Глубина оттаивания нижнего (последнего) слоя $h_н$ многослойной системы (грунтовые слои насыпи и основания) определяется по формуле:

$$h_н = H_{отн}\left(1 - \frac{h_1}{H_{от1}} - \frac{h_2}{H_{от2}} - \cdots - \frac{h_{n-1}}{H_{n-1}}\right), \qquad (7.5)$$

где $H_{отн}$ – расчётная глубина оттаивания нижнего слоя многослойной конструкции;

$h_1, h_2, \ldots, h_{n-1}$ – толщины однородных слоёв дорожной конструкции, м;

$H_{от1}, H_{от2}, \ldots, H_{n-1}$ – расчётные глубины оттаивания однородных слоёв многослойной конструкции.

Глубина сезонного промерзания многослойной дорожной конструкции $H_{пр}$ определяется по формуле:

$$H_{пр} = \sqrt{\frac{2\lambda_м^{ср} T_з \tau_з}{\sum_{i=1}^{n} \frac{H_i}{H_{от}}\left(L_{v_i} + 0{,}5C_{мi}T_з\right)}}, \qquad (7.6)$$

где $\lambda_м^{ср} = \left(\frac{h_1}{H_{от}}\lambda_1 + \frac{h_2}{H_{от}}\lambda_2 + \ldots + \frac{h_n}{H_{от}}\lambda_n\right)$ - средневзвешенный коэффициент теплопроводности слоев многослойной системы (дорожная одежда, насыпь и основание) в мёрзлом состоянии, Вт/(м·°С) или ккал/(м·час·°С);

$H_{от}$ – глубина оттаивания многослойной системы, м;

$\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_n$ – коэффициенты теплопроводности слоёв в мёрзлом состоянии, Вт/(м·°С) или ккал/(м·час·°С);

$C_{мi}$ – объёмная теплоёмкость материала слоёв в мёрзлом состоянии, кДж/(м^3·°С) или ккал/(м^3·°С);

$T_з$ – абсолютная средняя температура воздуха за период с отрицательными температурами воздуха (принимается по абсолютной величине, со знаком плюс и уменьшается на 3°С, для учёта происходящего и прогнозируемого длительного глобального потепления климата, происходящего на территории РФ преимущественно за счёт повышения зимних температур воздуха), °С**;

$\tau_з$ – продолжительность периода с отрицательными температурами воздуха (зимний период), час.

** T_{max} и $T_з$ - летние и зимние расчётные температуры воздуха, при необходимости (для уточнения расчетов), могут приводиться к температуре поверхности насыпи, путём прибавления или вычитания из них повышающих или понижающих температуру поверхности поправок, в соответствии с данными таблицы 6.2.

7.2.2 Учет влияния отдельных компонентов природной среды на температурный режим многолетнемерзлых пород.

Среднегодовая температура поверхности пород $t_{ср}$, а также на подошве слоя сезонного оттаивания $t_д$, с учетом природных факторов обуславливающих существование многолетнемерзлых пород может ориентировочно уточняться по данным табл. 6.2 как:

$$t_{ср} = t_в + \Delta t_R + \Delta t_{сн} - \Delta t_{раст}, \qquad (7.7)$$

$$t_д = t_в + \Delta t_R + \Delta t_{сн} + \Delta t_{ос} - \Delta t_{раст} - \Delta t_\lambda .$$

где $t_в$ - среднегодовая температура воздуха, °С;

Δt_R - изменение среднегодовой температуры поверхности за счет изменения альбедо, угла наклона и экспозиции поверхности (откоса) и др., °С;

$\Delta t_{сн}$ - изменение температуры поверхности за счет влияния снежного покрова,°С;

$\Delta t_{ос}$ - изменение среднегодовой температуры на подошве слоя сезонного оттаивания за счет влияния теплых летних осадков (температурная сдвижка по В.А.Кудрявцеву),°С;

$\Delta t_{раст}$ - изменение среднегодовой температуры поверхности за счет влияния растительного покрова, °С;

Δt_λ - изменение среднегодовой температуры на подошве слоя сезонного оттаивания за счет сезонных изменений теплопроводности пород

деятельного слоя в мёрзлом и талом состоянии (теплодиодная сдвижка по А.А.Цернанту),°С.

Температурная сдвижка за счет инфильтрации в дорожную насыпь (отсыпанную из дренирующих грунтов) теплых летних осадков ($\Delta t_{ос}$) упрощенно может определяться по формуле В.А. Кудрявцева:

$$\Delta t_{ос} = V*(t_{ос} - t_{гр})*c*H_{от} / \lambda_т * \tau , \quad (7.8)$$

где V - объём (количество) летних тёплых жидких осадков, инфильтрирующихся в дренирующий грунт, кг/м^2 по (мм/м^2) ;

$t_{ос}$ - температура летних тёплых жидких осадков, °С;

$t_{гр}$ - температура оттаивающего мёрзлого дренирующего грунта, принимаемая равной 0 °С для случая сезонного протаивания, °С;

с - теплоёмкость воды (принимаемая за 1);

$H_{от}$ - глубина сезонного оттаивания грунта, м;

$\lambda_т$ - коэффициент теплопроводности талого дренирующего грунта, Вт/(м*°С) или ккал/(м*ч*°С);

τ - время, год в часах (365суток*24ч)=8760ч.

Примеры влияния отдельных компонентов природной среды на температурный режим многолетнемерзлых пород с проверкой тепловой устойчивости дорожных сооружений приведены в приложении Б.

7.2.3 Расчет коэффициента тепловой устойчивости.

Коэффициент тепловой устойчивости определяется по формуле:

$$K_{ту} = \frac{H_{пр}}{H_{от}}, \quad (7.9)$$

7.2.4 Условия тепловой устойчивости.

Для устойчивого существования многолетнемёрзлых грунтов в основании насыпи, глубина промерзания $H_{пр}$, в среднем, должна превышать глубину оттаивания $H_{от}$ на 10-30% и более (при обязательном наличии сливающейся мерзлоты). Данное условие устойчивости природной вечной мерзлоты в основании насыпи можно представить в следующем виде:

$$K_{ту} = \frac{H_{пр}}{H_{от}} \geq 1{,}1 - 1{,}3 \quad (7.10)$$

где значение 1,1 применяется к I_1 , а 1,2 к I_2 подзонам распространения вечной мерзлоты, 1,3 к I_3 подзоне (в которой 1,2 применяется на марях,

торфяниках, северных склонах и других местах с устойчивой вечной мерзлотой).

При выполнении данного условия, глубина оттаивания под сооружаемой дорожной насыпью (при отсутствии инфильтрации в её основание тёплой воды) не возрастает и естественная мерзлота, как правило, не деградирует под ней в период эксплуатации.

Примеры расчетов тепловой устойчивости дорожных сооружений приведены в приложении Б.

7.3 Оценка общей устойчивости дорожных сооружений.

Дорожные конструкции кроме требований по тепловой устойчивости, должны соответствовать требованиям на устойчивость к оползанию (на косогорах, а также при солифлюкции) и по допустимой осадке.

7.3.1 Проверка откосов выемки и дорожной насыпи на косогоре на устойчивость к оползанию при сезонном оттаивании.

Крутизна и теплоизоляция откосов (насыпей и выемок) назначается такой, чтобы оттаявший за теплый период года мерзлый грунт не сползал по откосу. Для этого необходимо соблюдение условия:

$$sin\ \beta < \frac{\tau_{сд}}{\rho H_{от}}, \qquad (7.11)$$

где β - острый угол, составляемый откосом с горизонтальной поверхностью;

ρ - плотность (объемный вес) мерзлого грунта, слагающего откос, кг/м^3;

$\tau_{сд}$ - сопротивление грунта сдвигу, соответствующее началу возникновения пластических деформаций, МПа или (кгс/м^2)

$$\tau_{сд} = c + \text{Р}\ tg\varphi, \qquad (7.12)$$

где c - сцепление мёрзлого грунта после его оттаивания, кгс/м^2;

φ - угол внутреннего трения оттаявшего мёрзлого грунта;

Р - давление оттаявшего слоя грунта, кгс/м^2, которое определяется как:

$$\text{Р} = H_{от}\rho, \qquad (7.13)$$

где $H_{от}$ - сезонное оттаивание грунта откоса выемки, м.

Значения с и φ получают при мерзлотно-грунтовых испытаниях. Для ориентировочных расчетов можно пользоваться данными таблицы 7.1.

Таблица 7.1 - Углы внутреннего трения φ и сцепление c для оттаявших мёрзлых грунтов

Плотность грунта ρ, кг/м^3	φ, град					c, кгс/м^2		
	Песок			Супеси	Суглинок	Песок	Супеси	Суглинок
	мелкий	средней крупности	крупный					
1400	-	-	-	3	2	0	0	0
1500	-	-	-	6	4	0	0	200
1600	-	-	-	8	6	0	0	300
1700	-	-	-	10	9	0	100	400
1800	24	25	27	16	12	0	200	500
1900	26	28	30	18	15	0	500	1000
2000	28	30	32	—	—	0	—	—
2100	30	32	35			0		

При откосах круче расчётного их следует теплоизолировать торфом, укрываемым от размыва геосеткой или торфо-глинистой смесью (создаваемой совместным зимним взрыванием слоя торфа с нижележащим слоем суглинка на мари, например, в соотношении 50/50 и др.) в геовебах (талую) или без них и т.д. Толщина теплоизоляции $H_{из}$ определяется по формуле:

$$H_{из} = H_{от}\ \lambda_{из} / \lambda_{м} \qquad (7.14)$$

где $H_{от}$ – глубина сезонного оттаивания мёрзлого грунта откоса (выемки), м;

$\lambda_{м}$, $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности соответственно мёрзлого грунта откоса выемки и материала теплоизоляции, Вт/(м °К) или ккал/м·ч·°С.

Устойчивость косогоров, сложенных мёрзлыми грунтами, проверяется на подвижность верхних слоёв грунта при их оттаивании.

Примеры расчетов приведены в приложении Б.

7.3.2 Оценка снижения величины осадки насыпи (с повышением её равномерности) путём армирования геосинтетическими материалами (и их комбинациями).

Для проведения инженерных расчётов рекомендуются применять следующие опытные (эмпирические) зависимости учитывающие

коэффициент армирования (упрочнения) при применении различных геоматериалов (и их комбинаций) в дорожных конструкциях:

$$E_{уа} = E_{у} К_{а} \quad (7.15)$$

$$E_{оа} = E_{о} К_{а} \quad (7.16)$$

$$С_{а} = С К_{а} \quad (7.17)$$

где $E_{уа}$, $E_{оа}$, $С_{а}$ – модуль упругости, модуль деформации и коэффициент постели армированного геосинтетиками слоя;

$E_{у}$, $E_{о}$, С – модуль упругости, модуль деформации и коэффициент постели неармированного слоя;

$К_{а}$ – коэффициент армирования.

В соответствии с расчётной моделью Фусса – Винклера, коэффициент постели С является коэффициентом пропорциональности между нагрузкой (действующим напряжением) $\delta_{о}$ и деформацией (осадкой) S сжимающейся толщи основания *H*. При этом модуль деформации Ео равен отношению напряжения $\delta_{о}$ к относительной осадке λ , равной *H/S*

$$Ео = \frac{\delta_{о}}{\lambda} , \quad (7.18)$$

Исходя из этого, в расчётной схеме линейно-деформируемого полупространства, определение осадки *S* производится по формуле (ОДМ 218.5.003-2010 и СНиП 2.02.01-83 прилож.2 п.1.):

$$S = \frac{\delta_{о} H}{E_{о}} , \quad (7.19)$$

где Н – толщина сжимающейся грунтовой толщи основания, см;

$\delta_{о}$ – общее напряжение (нагрузка) на сезонноотаивающий (деятельный) слой основания от веса насыпи и подвижной нагрузки, МПа (кг/см^2), определяется по формуле:

$$\delta_{о} = \delta_{св} + \delta_{пн}, \quad (7.20)$$

где $\delta_{св}$ – напряжения (нагрузка) от собственного веса насыпи, МПа (кг/см^2);

$\delta_{пн}$ – напряжение (нагрузка) от подвижной нагрузки, МПа (кг/см^2).

$$\delta_{св} = \Sigma \rho * h , \quad (7.21)$$

где ρ – плотность (вес) слоёв грунта и д/о насыпи, кг/см^3;
h – толщина слоев грунта и дорожной одежды насыпи, см.

$$\delta_{пн} = \delta_а * Р_п * \eta, \quad (7.22)$$

где $\delta_а$ – величина нормального напряжения от воздействия (колеса) подвижной нагрузки на расчётной глубине (принимают по таблице А.9), МПа (кг/см^2);

$Р_п$ – давление в пневматических шинах подвижной нагрузки (равное 0,6 – 0,8 МПа), в МПа или кг/см^2;

η – коэффициент динамичности от воздействия подвижной нагрузки (принимаемый, в среднем 1,5).

Величину общей осадки S_a армированной геосинтетическими материалами (и их комбинациями) насыпи определяют по формуле:

$$S_a = \frac{S}{К_а} \quad , \quad (7.23)$$

или

$$Sa = \frac{\delta_о H}{E_о К_а} \quad . \quad (7.24)$$

В действительности (на практике) снижения осадки за счёт армирования полностью на величину $К_а$ не происходит, однако при этом, вместе с относительно близким к $К_а$ средним снижением величины осадки, значительно снижается и её неравномерность. Последнее наиболее важно, так как любая осадка, в основном, наиболее губительна именно своей неравномерностью. Равномерная же осадка, легко компенсируется технологически, например, созданием необходимого строительного запаса на последующую равномерную прогнозную осадку сооружения.

Примеры оценки снижения величины осадки насыпи (с повышением её равномерности) путём армирования геосинтетическими материалами (и их комбинациями) приведены в приложении Б.

7.3.3 Расчёт оснований на пучинистых грунтах в условиях вечной мерзлоты.

Заключается в определении толщины стабильного слоя (верхней части дорожной насыпи) обеспечивающего снижение деформации пучения s_f до допустимого значения s_u.

Толщину стабильного слоя определяют в следующей последовательности.

1. Назначается расчетная толщина искусственного основания (слоев дорожной одежды и верхней части земляного полотна из непучинистых грунтов).

2. С учетом толщины слоев дорожной одежды и её основания определяется высота последнего (n-го) пучащего слоя грунта H_n, по формуле

$$H_n = 1,9\sqrt{2\lambda_f \tau_f}\left(\sqrt{\frac{\theta_{mp}}{\eta_f}} - \sqrt{\frac{t_0}{\eta_{f0}}}\right) - \sum_{i=1}^{m-1} t_i \sqrt{\frac{\lambda_f \eta_{fi}}{\lambda_{fi} \eta_f}}, \qquad (7.25)$$

где λ_f, λ_{fi} - коэффициенты теплопроводности соответственно последнего (n-го) пучащего слоя грунта и i-го слоя дорожной или аэродромной одежды и основания, Вт/(м * °С);

θ_{mp} - абсолютная средняя температура на поверхности покрытия за период промерзания, °С, принимаемая равной средней температуре воздуха t_{ma};

t_0 - температура начала пучения грунта, °С, принимаемая по таблице 7.2;

$\tau_f = \sum \tau_j$ - продолжительность периода отрицательных температур на поверхности покрытия, ч;

τ_j - продолжительность j-го месяца с отрицательной среднемесячной температурой воздуха, ч;

i - номер слоя дорожной одежды и основания;

m - число слоев дорожной одежды и основания;

t_i - толщина i-го слоя дорожной одежды и основания, м;

η_f - количество тепла, выделяемое при фазовых переходах и охлаждении n-го слоя грунта, кДж/м^3:

$$\eta_f = 0,5\theta_{mp} C_f + \rho_d (w - w_w) 334;$$

η_{fi} - количество тепла, выделяемое при фазовых переходах и охлаждении i-го слоя дорожной одежды и основания, кДж/м^3:

$$\eta_{fi} = 0,5\theta_{mp} C_{fi} + \rho_{di} (w_i - w_{wi}) 334;$$

η_{f0} - количество тепла, выделяемое при фазовых переходах и охлаждении грунта, расположенного ниже изотермы начала пучения, кДж/м^3:

$$\eta_{f0} = 0,05 t_0 C_f + \rho_d (w - w_w) 334 ;$$

C_f, C_{fi} - теплоемкость в мёрзлом состоянии, кДж/(м^3 * °С);

ρ_d, ρ_{di} - плотность сухого(скелета) грунта или материала, кг/м^3;

w, w_i - суммарная влажность, доли единицы;

w_w, w_{wi} - влажность грунта или материала за счет содержания в них незамерзшей воды, доли единицы, соответственно последнего (n-го) пучащего слоя грунта и i-го слоя дорожной одежды и основания.

Значения ρ_{di}, λ_{fi}, C_{fi}, w_i - для материалов аэродромной и дорожной одежды и основания принимают табличные значения $\lambda_{f(i)}$ и $C_{f(i)}$ для грунтов естественного основания значения $\rho_{d(i)}$, $w_{(i)}$ и $w_{w(i)}$ - по данным инженерно-геологических изысканий.

Значение w_w допускается определять по формуле

$$w_w = k_w w_p , \qquad (7.26)$$

где k_w - коэффициент, принимаемый по таблице 7.3;

W_p- влажность грунта на границе раскатывания, принимаемая по данным инженерно-геологических изысканий.

Таблица 7.2 - Температура начала пучения грунта

Грунты	Температура начала пучения t_0, минус ^{0}С
Пески:	
гравелистые и крупные	0
мелкие и пылеватые	0,2
Супеси	0,4
Суглинки:	
мягкопластичные	0,6
тугопластичные	0,8
полутвердые	1,0
Глины:	
мягкопластичные	1,1
тугопластичные	1,3
полутвердые	1,5

Таблица 7.3

Грунты	Число пластичности	k_w
Пески и супеси	$I_p \leq 0,02$	0
Супеси	$0,02 < I_p \leq 0,07$	0,35
Суглинки	$0,07 < I_p \leq 0,13$	0,50
	$0,13 < I_p \leq 0,17$	0,55
Глины	$0,17 < I_p$	0,65

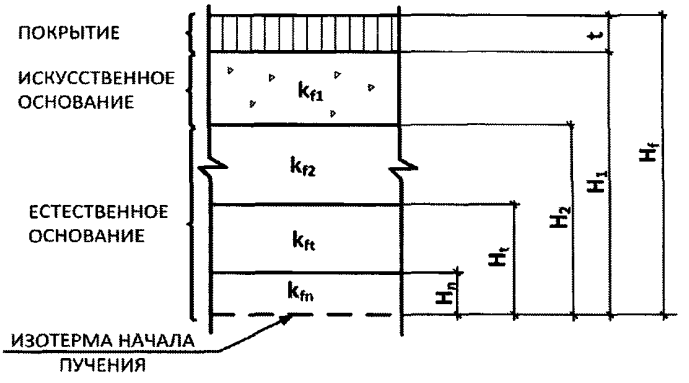


Рисунок 7.1 - Расчетная схема слоистого основания

3. Определяется расчетное значение деформации пучения основания s_f м, согласно расчетной схеме рисунок 7.1 по формуле:

$$s_f = H_1 m_{z1} k_{f1} + \sum_{i=2}^{n} H_i m_{zi} (k_{fi} - k_{f(i-1)}), \quad (7.27)$$

где H_i - высота промерзающего слоя основания за вычетом слоев, лежащих выше i-го слоя, м;

m_{zi} - коэффициент, учитывающий снижение интенсивности пучения по глубине и определяемый по графику рисунок 7.2 в зависимости от отношения H_i / H_f;

H_f - высота промороженной толщи дорожной одежды и основания до изотермы начала пучения, м;

k_{fi} - коэффициент морозного пучения i-го слоя, принимаемый по таблице 7.4.

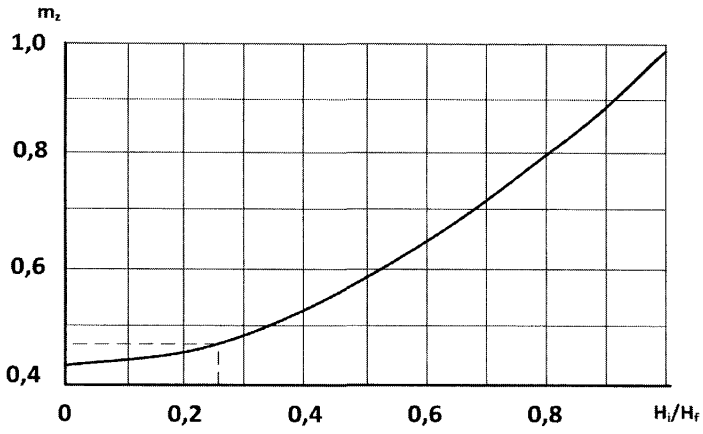


Рисунок 7.2 - График для определения коэффициента m_z

Таблица 7.4 - Значения коэффициента морозного пучения

Грунты	Коэффициент морозного пучения k_{fi} при типе гидрогеологических условий		
	1	2	3
Пески:	0	0	0,01
гравелистые	0	0,01	0,02
крупные			
средней крупности			
мелкие с содержанием частиц размером менее 0,05 мм, %:			
до 2	0	0,01	0,03
св. 2 до 15	0,01	0,02	0,04
пылеватые	0,02	0,05	0,10
Супеси:			
с содержанием песчаных частиц размером от 0,25 до 0,05 мм, %:			
20 и менее			
св. 20	0,01	0,03	0,10
пылеватые	0,03	0,05	0,12
	0,04	0,08	0,20
Суглинки:			
с содержанием глинистых частиц, %:			
от 10 до 20	0,02	0,04	0,12
св. 20 до 30	0,03	0.05	0,14
пылеватые	0,04	0,06	0,20
Глины	0,03	0,05	0,10

Примечания. 1. Значения расчетного коэффициента пучения для крупнообломочных грунтов принимают в зависимости от вида заполнителя (песок, супесь и т.д.), вводя понижающий коэффициент, равный: 0,5 - при содержании заполнителя от 10 до 30% массы грунта; 0,7 - при содержании заполнителя от 30 до 50% массы грунта.

2. Наличие в грунтах минералов группы каолинита, а также прослоек оглеенных и глинистых грунтов в песках повышает коэффициент пучения на 0,01 для гидрогеологических условий 1-го и 2-го типов и на 0,02 – для гидрогеологических условий 3-го типа. Наличие в грунтах новообразований в виде карбонатов, а также доуплотнение грунтов естественного основания до плотности, близкой к максимальной при стандартном уплотнении, снижают коэффициент пучения на 0,01 для гидрогеологических условий 1-го и 2-го типов и на 0,02 - для гидрогеологических условий 3-го типа.

4. Если при I и II принципах (проектирования) использования грунтов в качестве естественных оснований глубина сезонного оттаивания $H_{от}$, определенная по формуле (7.3), меньше H_f, то в расчетах деформации пучения H_f следует принимать равным $H_{от}$, а высоту последнего (n-го) пучащего слоя определять по формуле:

$$H_n = H_{от} - \sum_{i=1}^{m-1} t_i , \qquad (7.28)$$

5. Расчетная величина пучения сравнивается с допускаемым значением деформации пучения. В случае невыполнения условия производится корректировка толщины искусственного основания (верхней части насыпи из не пучинистого грунта) и расчет повторяется.

Пример расчета по методике приведен в приложение Б.

7.4 Инженерно-геокриологическая типизация деформирующихся дорожных участков.

Назначение мероприятий по стабилизации дорожных сооружений (основания, насыпи, дорожной одежды и покрытия) рекомендуется производить в зависимости от выявленных причин возникновения и развития осадочных деформацийи их типизации.

В приложении «В» представлена типизация деформирующихся (аварийных) участков на высокотемпературных (со среднегодовой температурой выше минус 1,5°С) термопросадочных (с относительной осадкой при оттаивании более 0,10) многолетнемёрзлых грунтах основания.

7.5 Прогнозирование динамичности теплового состояния и геокриологической устойчивости дорожных сооружений на перспективу.

Учитывается скачкообразное изменение температуры на поверхности исследуемого слоя грунта, которое описывается краевыми условиями 7.29. Такое изменение может произойти в результате реализации новых конструкторско-технологических решений по обеспечению геокриологической устойчивости дорожных сооружений.

$$\begin{cases} T(x,0)=T_1\left(1-\dfrac{x}{h}\right); \\ T(0,t)=T_2; \\ T(h,t)=T_3, \end{cases} \tag{7.29}$$

Динамичность теплового состояния, характеризуемого изменением температурного поля рассматриваемого слоя грунта, определяется математической моделью:

$$T(x,t)=(T_3-T_2)\frac{x}{h}+T_2+\frac{2(T_1-T_2)}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}\exp\left(\frac{an^2\pi^2t}{730h^2}\right)\cdot\sin\left(\frac{n\pi}{h}x\right), \tag{7.30}$$

где T_1 и T_2 – прежнее и новое значения температуры на поверхности слоя грунта;

T_3 – прогнозируемое значение температуры в основании слоя грунта.

В выражении 7.30 первые два слагаемых – стационарные величины, то есть они не зависят от времени, последнее же слагаемое со временем убывает, приводя к стабилизации, отличающегося от исходного, температурного поля, значения которого будут определяться стационарными величинами.

В том случае, когда промерзающий и оттаивающий массив грунта мощности h представляет собой многослойную конструкцию с толщинами слоев $h_1, h_2, \ldots, h_n$ и соответствующими коэффициентами температуропроводности $a_1, a_2, \ldots, a_n$. В формуле (7.30) коэффициент температуропроводности a рассматривается как средневзвешенная величина, определяемая по формуле

$$a=h\frac{a_1a_2\ldots a_n}{h_1a_2a_3\ldots a_{n-1}+h_2a_1a_3\ldots a_{n-1}+\ldots+h_na_1a_2\ldots a_{n-1}}, \tag{7.31}$$

Или в компактной записи:

$$a = \frac{h\prod_{j=1}^{n} a_j}{\sum_{i=1}^{n} h_i \prod_{j=1}^{n-1} a_j}. \qquad (7.32)$$

где $\prod_{j=1}^{n-1}$ – произведение $(n-1)$ сомножителя.

Пример прогнозирования, основанный на моделировании выражений (7.29 – 7.30), на несколько лет при заданных, фиксированных значениях величин, представлены в приложении Б.

Раздел 8. Инженерно-геокриологические условия и устойчивость многолетнемёрзлых пород к нарушениям естественной природной обстановки

8.1 Прогноз среднегодовой температуры грунтов в полосе нарушения естественных условий теплообмена.

Постройка дороги вносит большие изменения в природный режим вечномерзлых грунтов. Влияние этих изменений необходимо иметь в виду, принимая те или иные проектные решения.

Основными параметрами, характеризующими температурный режим пород в слое его годовых колебаний, являются среднегодовая температура воздуха и среднегодовые температуры пород (грунтов) на 3-х характерных уровнях:

- на поверхности земли (с учётом растительного, водного и снежного покровов на границе с атмосферой) $t_п$;
- на подошве деятельного слоя, сезонного оттаивания пород $t_д$;
- на границе нулевых годовых колебаний температур (или нулевых амплитуд) $t_о$.

В районах распространения низкотемпературных вечномёрзлых грунтов (со среднегодовой температурой грунтов на глубине нулевых годовых амплитуд ниже минус 2°С) развитие многолетнего протаивания и термокарста в результате техногенных воздействий наблюдается преимущественно в зоне непосредственного теплового влияния инженерных сооружений. В районах распространения высокотемпературных вечномёрзлых грунтов (со среднегодовой температурой грунтов на глубине нулевых годовых амплитуд выше минус 1,5 - 2°С) развитие техногенного термокарста происходит не только в зоне непосредственного теплового влияния сооружения, но и при нарушениях естественных условий теплообмена на поверхности и в грунтах. Они возникают в процессе инженерной подготовки территории или строительства сооружений (снятие растительного и почвенно-растительного покровов, послойное удаление грунта, обводнение поверхности, увеличение мощности снега до критической и др.). Наиболее интенсивные изменения геокриологических условий, в том числе развитие техногенного термокарста, имеют место в первые годы (1 – 3 гг.) после нарушения естественной геокриологической обстановки. Это необходимо учитывать при разработке мероприятий по предотвращению или регулированию термокарста.

Для прогноза среднегодовой температуры грунтов в полосе определенной ширины необходимо знать среднегодовую температуру

поверхности грунтов в естественных $t_п$ и нарушенных t_1 условиях и ширину зоны нарушения *l* (см. рисунок 8.1). Зависимость между разностью среднегодовых температур на поверхности нарушенного участка $t_п$ и на любой глубине под его центром $t_{ср}$ от разности t_1 и $t_п$ носит линейный характер. Это позволяет определить среднегодовую температуру грунтов под центром нарушения из соотношения:

$$t_{ср} = t_1 - k(t_1 - t_п), \qquad (8.1)$$

где k - коэффициент, зависящий от ширины полосы нарушения *l* и глубины h, на которой определяется $t_{ср}$.

В таблице 8.1 приведены значения коэффициента k для некоторых фиксированных глубин h под центром нарушенного участка в зависимости от ширины полосы нарушения l [20].

Таблица 8.1

Глубина h , м	Ширина зоны нарушения	
	l=5-50 м	l = 50-200м
6	$k=0,841e^{-0,038l}$	$k=0,221e^{-0.0086l}$
8	$k=0,891\ e^{-0,032l}$	$k=0,282e^{-0.009l}$
10	$k=0,899\ e^{-0,0262l}$	$k=0,374e^{-0.011}$

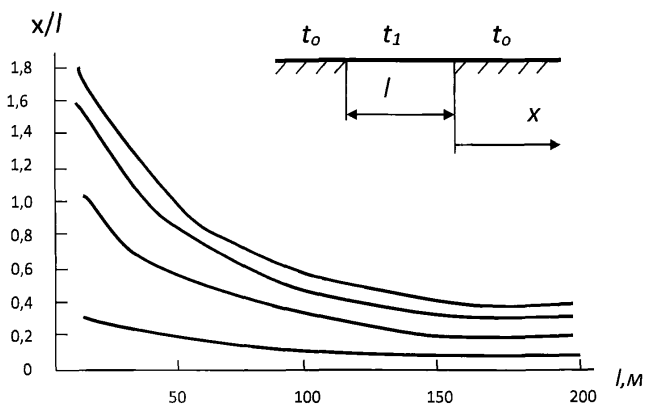


Рисунок 8.1 Зависимость размеров зоны теплового влияния техногенных нарушений x от ширины полосы нарушения - *l*

1) $|t_1-t_0|=1°C$; 2) $|t_1-t_0|=2°C$; 3) $|t_1-t_0|=3°C$; 4) $|t_1-t_0|=4°C$.

8.2 Типы нарушений естественных условий теплообмена.

В зависимости от размеров полосы нарушения и соотношения температур на поверхности нарушенного участка и в естественных условиях можно выделить три типа нарушений (см. рисунок 8.2):

I) Нарушения не сказываются на изменении среднегодовой температуры грунта, т.е. среднегодовая температура грунта на глубине 10 м под центром нарушения отличается от среднегодовой температуры грунта в естественных условиях не более чем на ± 0,2°С (точность полевого определения температуры грунтов). Для этих нарушений среднегодовая температура грунтов принимается равной ее значению в естественных условиях.

II) Среднегодовая температура грунтов на глубине 10 м под центром нарушенного участка лежит в диапазоне от ее значения в естественных условиях до температуры на поверхности нарушенного участка (с точностью ±0,2°С). Для этого типа нарушений значение среднегодовой температуры грунтов определяется по формуле (8.1) при известном значении $t_п$ и рассчитанной для конкретного типа нарушения (удаления растительного покрова, изменения условий снегонакопления и т.д.) величине t_1.

Ш) Среднегодовая температура грунтов на глубине 10 м под центром нарушенного участка отличается от ее значения на поверхности нарушения не более чем на ±0,2°С, т.е. температура грунтов в естественных условиях не оказывает влияния на среднегодовую температуру грунта под центром нарушения. Расчет среднегодовой температуры грунтов производится без учета влияния естественного фона температур $t_п$.

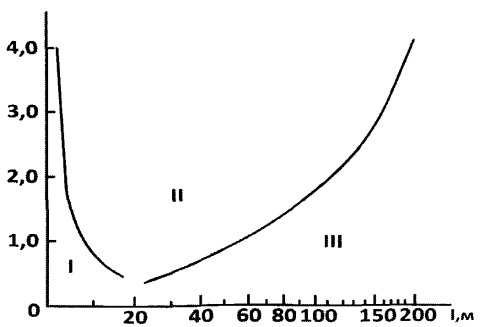


Рисунок 8.2 - Области теплового влияния техногенных нарушений в зависимости от размеров нарушенного участка l и разности среднегодовых температур поверхности грунтов в нарушенныхt_1 и естественных$t_п$ условиях

I$t_{ср}$ под центром нарушения равна $t_п$= ±0,2°С;

II$t_{ср}$ изменяется от $t_п$ до t_1 ;

III$t_{ср}$=t_1±0,2°С

Первый тип возможен при небольших площадях нарушенных участков и малом отличии температур грунтов в естественных и нарушенных условиях. Третий - при большой площади нарушений и также при незначительном перепаде температур в естественных и нарушенных условиях. В том случае, когда $t_п$ и t_1 имеют разные знаки (т.е. когда при техногенных нарушениях началось многолетнее промерзание или оттаивание грунтов) определяется область, в пределах которой начавшийся процесс сказывается на изменении температурного поля грунтов.

8.3 Определение степени термопросадочности многолетнемерзлых пород (ММП) при оттаивании.

Степень термопросадочности ММП при оттаивании определяется по формуле:

$$\delta = (\rho_d - \rho_{d,м}) / \rho_d, \qquad (8.2)$$

где ρ_d - плотность сухого (скелета) талого грунта, оттаявшего под расчётной нагрузкой, г/см^3;

$\rho_{d,м}$ - плотность сухого (скелета) грунта в мёрзлом состоянии, г/см^3.

В дорожно-мерзлотной классификации вечномёрзлых грунтов они делятся на четыре категории в зависимости от степени термопросадочности (т.е. величины относительной осадки при оттаивании) в основании:

1-я – грунты непросадочные, прочные $\delta \leq 0,03$;

2-я – грунты малопросадочные, недостаточно прочные $0,03 < \delta \leq 0,1$;

3-я – грунты просадочные, слабые $0,1 < \delta \leq 0,4$;

4-я – грунты сильнопросадочные $\delta > 0,4$, а также содержащие в верхних горизонтах подземный лёд.

8.4 Прогнозирование глубины оттаивания и осадки основания дорожных насыпей.

Прогнозная толщина оттаивания основания дорожных насыпей $H_{от}$, высотой до 1-3 м, на расчётный год (при образовании талика в основании), для наиболее неустойчивой (в условиях глобального потепления) I_3 южной мерзлотной подзоны [2], после 3-х лет эксплуатации может определяться по эмпирической формуле [23]:

$$H_{от} = 1,13 * (\tau - 3)^{1/2}, \qquad (8.3)$$

Прогнозную осадку S, в случае образования в основании участка насыпи «талика» (не сливающейся в зимний период, т.е. деградирующей вечной мерзлоты), для невысоких (до 3 м) дорожных насыпей из дренирующих грунтов (песчаных, гравийных, крупнообломочных и др.), расположенных на грунтах 3-й и 4-й категории термопросадочности, после трех лет эксплуатации, в наиболее неустойчивой (опасной) южной подзонеI_3 можно ориентировочно определять по формуле:

$$S = 0{,}37 * (\tau - 3)^{1/2} + 0{,}32 . \qquad (8.4)$$

где τ - период времени от момента возведения насыпи, после 3-х лет эксплуатации, в годах.

8.5 Период стабилизации дорожных насыпей.

Время стабилизации дорожных насыпей запроектированных по II-му принципу проектирования и, как правило, (по действующим техническим нормативам) [2;22;34] отсыпанных в нижней части из дренирующих грунтов, в наиболее неустойчивой I_3 южной и частично в I_2 центральной подзоне вечной мерзлоты, состоит из трех основных этапов:

1 - строительное нарушение существовавшего природного термодинамического равновесия с созданием неустойчивой геотехнической системы «земляное полотно-вечномёрзлое основание» (до 7-10 лет);

2 - формирование псевдо или (квази) термодинамического равновесия за счет нарастания непромерзающей таликовой зоны, всё более, по мере своего нарастания, сглаживающей своей уплотнившейся толщей неравномерности осадки оттаивания нижележащих грунтовых слоев. В результате дальнейшая осадка становится более равномерной и не так заметной. Кроме того, основная неравномерная льдонасыщенность вечномерзлых грунтов, как правило, тяготеет к активной зоне промерзания-оттаивания. В более нижних, мерзлых грунтовых слоях, особенно ниже глубины «нулевых амплитуд», обычно расположенной на 8-12 м от поверхности, льдонасыщенность мерзлых пород и её неравномерность обычно снижаются. Ввиду этого оттаивание нижележащих мерзлотных слоев принято называть псевдо (квази) стационарным, т.е. относительно устойчивым состоянием оттаивающего мерзлого основания (этот период длится ориентировочно 11-25 лет);

3 – установление псевдо термодинамического равновесия и устойчивого квазистационарного состояния с относительной стабилизацией (уменьшением по величине и увеличением по равномерности) происходящей осадки. В этот период деформации происходят преимущественно за счёт

пластических подвижек оттаявших слабых грунтов основания (как правило, через 25 лет и более).

При глубине сезонного оттаивания торфяных и глинистых грунтов (на марях и др.) в естественных условиях 0,8 – 1,7 м верхняя граница «талика» через 20 – 25 лет устанавливается примерно на глубине 5 м от поверхности насыпи, а нижняя на глубине 10–12 м. Ежегодно неравномерные осадки насыпей, в зависимости от категории термопросадочности оттаивающих грунтов оснований, в начальный период 10–15 лет после строительства, в среднем, составляют от 4-8 до 12–18 см и более, особенно в первые годы эксплуатации. Векторы перемещений направлены вниз и в стороны от оси земляного полотна [23].

По степени мерзлотной деформативности (опасности) земляное полотно автомобильных и железных дорог условно может быть подразделено на следующие категории деформативности [23]:

1-я – устойчивые участки, осадка до 20 мм/год;
2-я – деформирующиеся участки, осадка от 20 до 50 мм/год;
3-я – опасные участки, осадка от 50 до 150 мм/год;
4-я – аварийные участки , осадка более 150 мм/год.

8.6 Наличие трёх длительных (десятки лет) этапов стабилизации дорожных насыпей на просадочных мерзлотных участках при 2-м (основном по п.6.50. СНиП 2.05.02-85/2003/) принципе проектирования, вызывает необходимость применять более надёжный, комбинированный (обобщённый) универсальный (экологический) принцип проектирования. Универсальный принцип, является модернизированным вторым принципом проектирования. При этом устраняются его основные недостатки (наличие затекания тёплых вод в осевшее основание насыпи и отсутствие подмораживающего «теплодиодного» эффекта). Дополнительно он (в преимущественном исполнении) усиливается элементами четвёртого принципа. Это обеспечивается приспособлением насыпи сначала к гашению неравномерностей и величины кратковременной строительной (в основном, в первый строительный период оттаивания) расчетным армированием геосинтетическими материалами. А затем (в качестве подстраховки) возможной, эксплуатационной осадки (при внепрогнозном глобальном потеплении климата), а также для гашения неравномерности ежегодного морозного поднятия (пучения) [27].

При универсальном (экологическом) принципе проектирования, отсыпка нижней части дорожной насыпи осуществляется с расширенным использованием наиболее распространённых местных, временно

некондиционных (мёрзлых и/или переувлажнённых), но пригодных при допустимой влажности глинистых и торфяных грунтов, а также искусственных торфо-глинистых и глинисто-песчаных смесей. Применение данных грунтов и грунтовых смесей в нижней части насыпи, при универсальном принципе, возможно без начального нормативного их уплотнения. Требуемое нормативное уплотнение, как правило, технически невозможно при строительстве с применением местных льдонасыщенных песчаных или переувлажнённых крупнообломочных с глинистым заполнителем, глинистых и торфяных грунтов, а также их смесей (особенно в длительный холодный период или при круглогодичном строительстве). Временно некондиционные местные грунты, в нижней части, преимущественно невысоких (до 3м) дорожных насыпей, затем уплотняются при уплотнении кондиционного или дренирующего грунта верхней части насыпи (как правило, на геосинтетической прослойке, сглаживающей неравномерности осадки). Затем, дополнительно движением технологического и транзитного транспорта, до стабилизации осадки (не более 4-6 см за тёплый период) или достижения коэффициента уплотнения не менее 0,90-0,92. При проектировании по универсальному принципу, соответствующим теплотехническим расчётом обязательно проверяется тепловая (и соответственно общая) устойчивость дорожных насыпей на вечной мерзлоте (с учетом происходящего и прогнозируемого на ближайшие 50-100 лет глобального потепления климата). Нормативные, общие положения универсального принципа проектирования приведены в Разделе 4 ОДМ «Методические рекомендации по проектированию земляного полотна на вечной мерзлоте с использованием местных грунтов» [1].

Приложение А

Справочные данные

Таблица А.1 Температурные характеристики территорий зоны вечной мерзлоты РФ

Среднегодовая температура воздуха, $t_в$, °С	Распространение многолетнемёрзлых пород	Градация прерывистости мёрзлой зоны	Среднегодовые температуры на подошве СТС, $t_д$, °С
0 ÷ - 3	В районах с малым снегонакоплением и только в торфяниках	Спорадическая	- 2 ÷ 5 (1 ÷ 3)*
- 3 ÷ - 5	Преимущественно в торфяниках. В местах с малым снегонакоплением возможно и в минеральных грунтах	Островная	- 4 ÷ 3,5 (0 ÷ 2)
- 5 ÷ - 7,5	Повсеместно в торфяниках, часто в глинах и суглинках, реже в супесях и песках	Прерывистая	- 6 ÷ 2 (- 2 ÷ 0)
- 7,5 ÷ - 9,5	Везде, кроме районов с аномально большим снежным покровом на участках с влажными минеральными грунтами	Преимущественно сплошная	- 8 ÷ 1 (- 3 ÷ - 1)
- 9,5 ÷ - 14	Повсеместно (практически везде)	Сплошная	- 11 ÷ 0 (- 6 ÷ -2)

*В скобках приведены наиболее характерные интервалы среднегодовых температур основания сезонно-талого слоя (СТС).

Таблица А.2 Ориентировочная инженерно-геокриологическая оценка многолетнемёрзлых пород по степени деформируемости при протаивании, в зависимомости от криогенного строения и льдистости [33]

Класс по деформируемости при протаивании ММП	Суммарная льдистость, %	Криогенное строение верхнего горизонта ММП (тип, подтип, вид)	Состав пород	Возможные криогенные процессы при протаивании ММП
Недеформирующиеся	0 - 10	Эпигенетический, массивный, простой Сингенетический, массивный, простой	Рыхлые отложения, пески и грубозернистые породы. Скальные слаботрещиноватые	Малопросадочные. Возможно освоение территории без учета мёрзлого состояния пород. Степень просадочности $\delta = 0,01 - 0,05$
Слабодеформирующиеся	10 - 20	Эпигенетический, шлировый, простой	Тонко- и грубозернистые с примесью пылеваых и глинистых частиц	Просадочные с относительно равномерной осадкой. $\delta = 0,05 - 0,15$
Среднедеформирующиеся	20 - 40	Сингенетический, шлировый, простой Эпигенетический, шлировый, сложный	То же	Сильно просадочные с неравномерной осадкой. Возможны термокарст, термоэрозия, термоабразия, солифлюкция, оползания $\delta = 0,15 - 0,35$
Сильнодеформирующиеся	40 – 80 и более	Сингенетический, шлировый, сложный Сингенетический, шлировый,	Преимущественно тонкозернистые, пылеватые	Чрезмерно просадочные с резко неравномерной осадкой, термокарст, термоэрозия, термоабразия, солифлюкция, сплывы $\delta \geq 0,35 - 0,75$

		сложный		

Таблица А.3 Ориентировочные коэффициенты теплопроводности и термического сопротивления в талом и мёрзлом состояниях различных поверхностных покровов

Характеристика напочвенного покрова	Степень увлажнения	$\lambda_м$ Вт/м°С Холодный период	$\lambda_т$ Вт/м°С Тёплый период	$R_м$ м^2 °С/Вт Холодный период	$R_т$ м^2°С/Вт Тёплый период
Мощный моховой покров с очёсом и сфагнумом, толщиной до 20см	Слабоувлажненный	0,44	0,23	0,50	0,86
	Увлажнённый	0,76	0,27	0,26	0,50
	Переувлажнённый	1,16	0,60	0,09	0,17
То же, с засыпкой грунтом	Слабоувлажненный	0,70	0,35	0,22	0,43
Маломощный моховой покров (преимуществ.зелёные мхи) толщиной до 10см	Увлажнённый	0,90	0,46	0,13	0,25
	Слабоувлажненный	0,23	0,20	0,43	0,50
То же, с засыпкой грунтом Ягель	Слабоувлажненный	0,35	0,26	0,26	0,34
Дерновый покров, толщ.до 15см	Сухой	0,17	0,52	0,39	0,39
	Слабоувлажненный	0,60	0,46	0,26	0,34

Таблица А.4 Ориентировочные характеристики мерзлых песчаных грунтов [33]

Характеристики мерзлых грунтов	Грунты				Льдогрунтовая масса
	Сыпучемерзлые	Сухомерзлые	Твердомерзлые	Льдонасыщенные	
1	2	3	4	5	6
Суммарная влажность (льдистость), %	0-3	3-6	7-20	21-38	38-99
Степень водонасыщения (льдонасыщения)	0-0,01	0,01-0,1	0,1-0,8	0,8-0,9	0,9
Коэффициент пористости	0,48-0,63	0,5-0,66	0,56-071	0,71-0,9	0,9
Коэффициент просадочности при оттаивании (термопросадочность)	0	0-0,01	0,01-0,14	0,15-0,20	Более 0,2
Тип льда - цемента (криогенная структура)	Контактный	Контактный и пленочный	Пленочн. и поровый	Поровый и базальный	Базальный
Тип криогенной текстуры	-	Массивная	Массивн.	Массивная, редко-слоистая и сетчатая	Сетчатая (блоковая)
Прочность на раздавливание, МПа		0-1	1-30	9-20	9-15
Прочность по ударнику СоюздорНИИ (при температуре -5°С)		10	10-200	100-200	100-150
Наименование по СНиП 2.04.05-89 и ГОСТ 25100-2011	Сыпучемёрзлые	Твёрдомёрзлые	Твёрдомёрзлые	Пластичномёрзлые	Пластичномёрзлые

Таблица А.5 - Категории термопросадочности грунтов при оттаивании (в том числе с замачиванием) для автомобильных дорог

Категория термопросадочности грунтов при оттаивании	Ориентировочная относительная просадочность δ, д.е.	Льдистость грунта I_i, д.е.	Суммарная влажность грунта W_{tot} сезонноталого слоя, д.е.			
			пески мелкие	пески пылеватые, супеси легкие	супеси и суглинки	торф
I - непросадочные	0-0,02	Без ледяных включений (0-0,01)	<0,10	< 0,15	< 0,20	-
II - мало-просадочные	0,03-0,06	Малольдистый (0,01-0,1)	0,10-0,15	0,15-0,20	0,2-0,25	< 2
III - просадочные	0,07-0,15	Льдистый (0,1-0,4)	0,25	0,3	0,25-0,6	2-6
IV - сильно-просадочные	0,16-0,40	Сильно-льдистый (0,4-0,6)	-	-	> 0,6	> 6
V - чрезмерно-просадочные	> 0,4	С крупными включениями подземного льда (0,6-1,0)	-	-	> 1,1	> 8

Примечание. Относительная осадка (или просадка при замачивании) определяется расчетом по формуле (8.2) или по данным инженерно-геологических исследований (испытаний) грунтов.

Таблица А.6 - Классификация мерзлых песчаных грунтов по условиям разработки и применения для сооружения земляного полотна [33]

Разновидность песчаных грунтов	Условия разработки	Содержание мерзлых комьев крупнее 25-30 см при разработке %	Условия применения	Достигаемый коэффициент уплотнения (зимой и после оттаивания)		Относительная осадка при оттаивании в насыпи, доли ед.
Сыпучемерзлый $W_{tot} < 3\%$	Без рыхления	0	Без ограничений	0,92	0,95	>0,03
Сухомерзлый $3\% < W_{tot} < 7\%$	То же	< 50	Размер мерзлых комьев не должен превышать 30 см	0,85	0,95	>0,10
Твердомерзлый $7\% < W_{tot} < 22\%$	С предварительным рыхлением	50-80	В смеси с сыпучемерзлым грунтом в нижней части насыпи содержание мерзлых комьев до 30 см - не более 50%	0,75	0,95	>0,20
Пластичномерзлый $W_{tot} > 22\%$	С предварительным рыхлением	> 80	Только для заготовки в бурты с последующим оттаиванием и просушкой	Не нормируется		

Примечание. W_{tot} суммарная влажность мёрзлого песчаного грунта.

Таблица А.7 - Классификация песчаных грунтов по степени цементации льдом и по льдистости

Разновидность песчаных грунтов по степени цементации льдом и льдистости	Суммарная влажность	Степень заполнения льдом и водой пор мерзлых грунтов	Коэффициент пористости	Коэффициент просадочности при оттаивании	Криогенная текстура	Степень влажности при оттаивании
Сыпучемерзлый	< 3	0,0-0,01	0,48-0,63	0,02	Отсутствует	Воздушносухой
Сухомерзлый	3-6	0,01-0,1	0,5-0,66	0,03-0,10	Массивная	Маловлажный
Твердомерзлый, малольдистый	7-22	0,1-0,8	0,56-0,71	0,10-0,20	Массивная и сетчатая	Маловлажный и влажный
Пластичномерзлый и льдистый	>22	> 0,8	> 0,71	> 0,20	Слоисто-сетчатая	Водонасыщенный

Таблица А.8 - Ориентировочные осадки оснований дорожных насыпей высотой до 3 м (запроектированных по II-му принципу проектирования)[33]

Ландшафт, вид грунта и мощность мохово-растительного покровного слоя, см	Осадка, см		
	На 1-й год строительства	На 2-й год эксплуатации	На 3-й год эксплуатации
1	2	3	4
Тундровые ландшафты со сливающейся мерзлотой. Лишайниково-пятнистая и каменисто-лишайниковая тундры, на маревых суглинках, 0-5	10-18	14-17	15-19
Кочковато-богульниковая и мелко-ерниковая тундры, на покровных супесях, 5-15	16-19	15-21	14-23
Кочковато-ерниковая тундра на покровных и аллювиальных суглинках и супесях, 15-30	15-25	20-28	20-31
Ерниково-моховая горная и предгорная осоково-сфагновая тундра, на мореных суглинках, 15-50	18-26	18-31	23-36
Торфяной бугор торфяно-бугристой тундры, на озерно-ледниковыхи аллювиальных супесях и суглинках, с торфом	15-22	17-24	20-27
Лесотундровые ландшафты с несливающейся	15-18	20-22	21-25

мерзлотой. Редколесье березово-еловое и лиственничное на покровных супесях и суглинках, 5-15			
Лес березово-еловый на покровных и аллювиальных суглинках и супесях, оторфованных, 15-40	15-23	20-25	22-30

Окончание таблицы А.8

1	2	3	4
Редколесье горное, березово-еловое на аллювиалъно-делювиальных и аллювиальных супесях и суглинках, 5-30	10-16	13-17	15-17
Лес горный, березово-еловый, на аллювиальных и аллювиально-делювиальных супесях и суглинках, 20-35	18-29	25-30	27-32
Луговые ландшафты с несливающейся мерзлотой. Пойма ивово-луговая на аллювиальных супесях и суглинках, с дерновым слоем 10-20	20-29	25-32	30-35
Ериково-луговая горная тундра, на мореных суглинках, с дерновым слоем, 5-10	18-23	20-24	21-25
Болотные ландшафты с несливающейся мерзлотой Болото на пойме, на аллювиальных супесях и суглинках, 5-15	30-37	30-41	35-44
Горно-ложбинное луговое имоховое болото на переотложенных мореных суглинках, с очесом к мхом, 5-10	30-40	35-46	45-52
Ивовая полоса стока, на овражно-аллювиальных и оторфованных суглинках с осоковыми кочками до 40	35-42	38-46	48-51
Болото в торфяно-бугристой тундре на озерно-ледниковых и аллювиальных оторфованных супесях и суглинках с торфом до 100	50-59	60-69	75-80

Примечание. Дорожные насыпи запроектированы и построены по II-му (основному в соответствии с п.7.50 СП 34.13330.2012) принципу проектирования. Меньшие значения осадок наблюдаются при отсыпке насыпей в зимний период (ноябрь-апрель), большие - в летне-осенний (май - октябрь). При этом осадки зимней отсыпки длятся дольше и сравниваются по величине с летне-осенней отсыпкой через 4-5 года.

Таблица А.9 - Обобщённые ориентировочные значения коэффициентов армирования различными геосинтетическими материалами конструктивных слоев дорожных одежд их основания и слоёв земляного полотна [25]

№ п/п	Материал конструктивного слоя и схема армирования	Коэффициент армирования, Ка
1	Щебень + геосинтетическая прослойка (геотекстиль)*	1,30
2	Гравий (шлак) + геосинтетическая прослойка	1,30
3	Песчано-гравийная смесь + геосинтетическая прослойка	1,35
4	Песок + геосинтетическая прослойка	1,40
5	Супесь (суглинок, глина) + геосинтетическая прослойка	1,50
6	Щебень (гравий) + объемная георешетка + геосинтетическая прослойка	1,65
7	Щебень (шлак, ПГС) фр. 20-40мм + плоская георешетка с ячейками 30/30 или 40/40мм + геосинтетическая прослойка	1,75
8	Песок + объемная георешетка + геосинтетическая прослойка	1,9
9	Супесь (суглинок, глина) + объемная георешетка + геосинтетическая прослойка	2,0

*Тканая геосинтетическая прослойка с прочностью (на растяжение) не менее 300 кН/м. Схемы армирования и значения полученных опытных коэффициентов армирования Ка, для различных вариантов конструкций дорожных одежд и их оснований, геосинтетиками приведены в ВРДС 32-12-08 МО РФ [25] и др.

Таблица А.10 - Расчетные (по методу В.П. Чернядьева) средние годовые температуры пород и глубины сезонного оттаивания. Ориентировочное количественное влияние факторов геолого-географической среды, их формирующей [30]

Растительная зона	Геоморфологический уровень	Характер напочвенного покрова	Свойства и состав грунтов СТС	Влияние снежного покрова	Влияние растительного покрова	Влияние состава и влажности грунтов	Расчетная температура (°С) и мощность СТС, м
				на температуру грунтов, °С / на глубину сезонного оттаивания, м			
1	2	3	4	5	6	7	8
Арктическая тундра	Останцы древней аллювиальной равнины – “едомы”	Чахлая полярная ива, фрагменты мхов, разнотравье	Глинистые пылеватые, слабо заторфованные	$\frac{3,7-5,0}{0,07-0,10}$	$\frac{(-0,8)-(-1,1)}{(-0,1)-(-0,11)}$	(-0,1) - (-0,2)	$\frac{(-11,3)-(-14,0)}{0,12-0,5}$
	Аласная равнина: центральные части котловин	Заболоченные, преимуществ.замшенные поверхности, осока	Глинистые заторфованные	$\frac{6,2-7,6}{0,11-0,16}$	$\frac{(-2,5)-(-3,1)}{(-0,35)-(-0,38)}$	(-0,1) - (-0,4)	$\frac{(-8,5)-(-12,9)}{0,14-0,49}$
	краевые части котловин	Замшенные участки, преимуществ.сфагновый мох	Торф	$\frac{6,0-8,0}{0,06-0,1}$	$\frac{(-3,7)-(-4,1)}{(-0,18)-(-0,38)}$	(-0,6) - (-0,8)	$\frac{(-8,5)-(-11,1)}{0,01-0,08}$
	Пойменные террасы рек	Осока, маломощный мох	Глинистые пылеватые, слабо заторфованные	$\frac{3,9-5,0}{0,13-0,18}$	$\frac{(-2,0)-(-2,3)}{(-0,23)-(-0,25)}$	(0) - (-0,1)	$\frac{(-10,2)-(-14,2)}{0,3-0,78}$

Растительная зона	Геоморфологический уровень	Характер напочвенного покрова	Свойства и состав грунтов СТС	Влияние снежного покрова	Влияние растительного покрова	Влияние состава и влажности грунтов	Расчетная температура (°С) и мощность СТС, м
				на температуру грунтов, °С / на глубину сезонного оттаивания, м			
1	2	3	4	5	6	7	8
	Современная морская терраса	Осока, разнотравье, мхи	Торф				
Субарктическая тундра	Останцы древней аллювиальной равнины – “едомы”	Слабо заболоченная поверхность, зеленый мох, осока	Глинистые пылеватые, мелкий песок, слабо заторфованные	$\frac{5,0-6,2}{0,04-0,07}$	$\frac{(-2,7)-(-3,1)}{(-0,18)-(-0,31)}$	(-0,4) – 0,7	$\frac{(-11,2)-(-14,0)}{0,05-0,14}$
	Аласная равнина: центральные части котловин	Слабо заболоченные поверхности, мхи, осока, кустарничковые	Глинистые заторфованные	$\frac{6,0-6,2}{0,1-0,13}$	$\frac{(-1,9)-(-2,2)}{(-0,2)-(-0,24)}$	(-0,2) - (-0,4)	$\frac{(-9,6)-(-11,2)}{0,4-0,61}$
	Краевые части котловин	Сухие, возвышенные поверхности, кустарнички ивы и березки	Торф, супесь пылеватая	$\frac{6,0-7,0}{0,1-0,13}$	$\frac{(-3,1)-(-3,3)}{(-0,3)-(-0,38)}$	(-0,1) - 0,3	$\frac{(-8,6)-(-9,2)}{0,5-0,6}$
	Дельтовые равнины: повышенные участки	Сухая поверхность, фрагментарно мох и	Песок мелкий, пылеватый	$\frac{7,0-7,6}{0,14-0,16}$	$\frac{(-1,9)-(-2,6)}{(-0,21)-(-0,22)}$	(-0,2) - (-0,4)	$\frac{(-7,0)-(-8,5)}{0,49-0,62}$

Растительная зона	Геоморфологический уровень	Характер напочвенного покрова	Свойства и состав грунтов СТС	Влияние снежного покрова	Влияние растительного покрова	Влияние состава и влажности грунтов	Расчетная температура (°С) и мощность СТС, м
				на температуру грунтов, °С / на глубину сезонного оттаивания, м			
1	2	3	4	5	6	7	8
		кустарничковые					
	Пониженные участки	Заболоченность, мох	Оторфованный мелкий песок, торф	$\frac{6,2-7,6}{0,35-0,38}$	$\frac{(-1,0)-(-2,0)}{(-0,1)-(-0,28)}$	-0,1	$\frac{(-8,3)-(-11,1)}{0,8-1,18}$
	Подтопленные участки	Заболоченность	Торф	$\frac{6,0-8,4}{0,27-0,4}$	$\frac{(-2,2)-(-2,7)}{(-0,28)-(-0,32)}$	-0,1	$\frac{(-6,3)-(-8,2)}{0,26-0,4}$
	Пойменные террасы рек: низкая пойма	Густой кустарник, ивы	Глинистые пылеватые	$\frac{5,0-6,9}{0,23-0,3}$	0	-0,2	$\frac{(-6,3)-(-8,2)}{1,37-1,45}$
	средняя и высокая поймы	Осока, мох, разнотравье	Супесь заторфованная	$\frac{4,0-5,5}{0,1-0,18}$	$\frac{(-1,9)-(-2,2)}{(-0,25)-(-0,30)}$	-0,3	$\frac{(-8,2)-(-10,5)}{0,8-1,0}$
Тундролесье	Древняя аллювиальная равнина – “едомы”	Лиственничный лес. Кустарничковые мхи	Глинистые пылеватые	$\frac{8,0-9,0}{0,16-0,18}$	$\frac{(-1,8)-(-2,0)}{(-0,4)-(-0,46)}$	-0,1	$\frac{(-5,6)-(-6,1)}{0,8-0,9}$
	Древняя равнина	Кустарничковые мхи зелёные	Глинистые заторфованные	$\frac{8,0-9,0}{0,16-0,18}$	$\frac{(-1,8)-(-2,0)}{(-0,4)-0,46}$	(-0,2) - (-0,3)	$\frac{(-5,8)-(-6,3)}{0,57-0,63}$
	Аласные котловины	Лиственный лес, сфагновый мох	Глинистые заторфованные	$\frac{8,2-9,5}{0,15-0,17}$	$\frac{(-3,1)-(-3,4)}{(-0,5)-0,51}$	-0,1	$\frac{(-7,3)-(-7,7)}{0,4-0,5}$

Растительная зона	Геоморфологический уровень	Характер напочвенного покрова	Свойства и состав грунтов СТС	Влияние снежного покрова	Влияние растительного покрова	Влияние состава и влажности грунтов	Расчетная температура (°С) и мощность СТС, м
				на температуру грунтов, °С / на глубину сезонного оттаивания, м			
1	2	3	4	5	6	7	8
	Аласные котловины	Заболоченная поверхность, мхи и разнотравье	Глинистые заторфованные	$\frac{8,0-8,6}{0,15-0,17}$	$\frac{(-0,9)-(1,2)}{-0,2}$	-0,5	$\frac{(-4,9)-(-5,4)}{0,79-(-0,86)}$
	Аласные котловины	Мхи	Торф	$\frac{8,3-8,9}{0,13-0,15}$	$\frac{(-1,0)-(1,3)}{-0,2}$	-0,7	$\frac{(-5,1)-(-5,6)}{0,5-(-0,7)}$
	Аласные котловины	Луговая растительность	Глинистые пылеватые	$\frac{6,0-6,9}{0,2-0,3}$	$\frac{(-0,2)-(-0,7)}{-0,5}$	-0,2	$\frac{(-6,0)-(-6,3)}{1,4-1,6}$
	Пойменные уровни: пляжи и косы	Оголенная поверхность	Пески мелкие, супесь пылеватая	$\frac{5,0-5,9}{0,23-0,27}$	0	(-0,2) - (-0,4)	$\frac{(-6,0)-(-8,2)}{1,37-(-1,65)}$
	прибровочные участки	Густой ивовый кустарник	Супесь пылеватая	$\frac{7,9-9,4}{0,3-0,39}$	0	(-0,2) - (-0,4)	$\frac{(-2,4)-(-5,3)}{1,2-1,45}$
	центральные части поймы	Луговая растительность, местами мох и кустарничковые	Глинистые пылеватые, слабо заторфованные	$\frac{8,3-8,6}{0,12-0,17}$	$\frac{(-0,9)-(-1,2)}{0,16-0,2}$	(-0,4) - (-0,5)	$\frac{(-5,0)-(-5,6)}{0,75-0,8}$
	тыловые части пойм	Лиственничный лес, замшенная заболоченная кочковатая	Глинистые заторфованные	$\frac{8,0-9,0}{0,16-0,18}$	$\frac{(-1,8)-(-2,0)}{(-0,4)-0,46}$	(-0,2) - (-0,3)	$\frac{(-5,8)-(-6,3)}{0,57-0,63}$

Растительная зона	Геоморфологический уровень	Характер напочвенного покрова	Свойства и состав грунтов СТС	Влияние снежного покрова	Влияние растительного покрова	Влияние состава и влажности грунтов	Расчетная температура (°С) и мощность СТС, м
				на температуру грунтов, °С / на глубину сезонного оттаивания, м			
1	2	3	4	5	6	7	8
		поверхность					
	низинные части пойм	заболоченная	Торф	$\frac{8,2-9,5}{0,15-0,17}$	$\frac{(-3,1)-(-3,4)}{(-0,5)-(-0,51)}$	-0,1	$\frac{(-7,3)-(-7,7)}{0,4-0,5}$

Знак (-) означает понижение температуры и уменьшение мощности СТС за счёт влияния данного фактора, отсутствие знака (-) повышение температуры и увеличение мощности СТС.

Справочно-информационные данные

Конвективный перенос тепла во время осадки при оттаивании характеризуется следующим.

Крупнозернистые грунты, такие как гравий и песок, обычно устойчивы при оттаивании (при незначительной льдистости), пылеватые глинистые и илистые грунты, часто содержащие избыток льда, весьма неустойчивы. Если оттаивание происходит медленно, вода, образующаяся при оттаивании (в открытой системе), будет мигрировать от фронта оттаивания практически с такой же скоростью, с какой она образуется. В этом случае избыточное поровое давление не будет поддерживаться, и осадка будет происходить одновременно с оттаиванием грунтов. Если оттаивание происходит быстро, могут образовываться избыточные поровые давления вследствие собственного веса грунта или сочетания собственного веса и приложенной нагрузки. При этом *восходящее перераспределение холодной, надмерзлотной воды во время осадки оттаивания обычно снижает скорость оттаивания*. В итоге, если влияние восходящей миграции воды во время осадки оттаивания игнорируется, ввиду незначительности (в среднем до 3%), полученные погрешности обычно приводят к несколько завышенной оценке скорости оттаивания. Кроме того, поскольку скорость восходящей фильтрации обычно уменьшается по мере увеличения глубины протаивания, конвективный перенос тепла со временем уменьшается. При протаивании крупнодисперсных льдонасыщенных пород, в слое между изотермами + 4 и 0 °С, создаются условия для термоградиентной конвекции воды. Она протекает тем интенсивнее, чем грубее (крупнее) скелет породы (т.е. чем выше её проницаемость) и больше температурный градиент. Другие факторы – внешнее давление (например, от дорожной насыпи и др.), толщина зоны между изотермами + 4 и 0 °С, также влияют на интенсивность конвекции, но в меньшей мере. Теплообмен в протаивающих породах, имеющих коэффициент фильтрации больше 50 см/сутки, в случаях затекания тёплых вод, может увеличиваться в несколько раз. Однако методы расчёта свободной конвекции в протаивающих породах построены на значительных допущениях и дают разноречивые результаты (Гольдтман, 1958; Порхаев и Саркисян, 1960; Ухова, 1964, Фельдман, 1972 и др.).

Тепловые эффекты инфильтрации надмерзлотных талых и осадковых вод в оттаявших грунтах.

Известно несколько случаев, когда температура фильтрующейся воды имеет решающее значение на температурный режим грунтов. Для этих случаев наблюдаемые изменения температур во время или после инфильтрации (а также конденсации) обуславливаются следующими воздействиями:

1) отепляющими, при инфильтрации тёплых летних осадков, тёплых поверхностных паводковых вод, а также конденсации (при которой в грунт привносится 539 калорий тепла от каждого сконденсировавшегося из пара грамма воды);
2) охлаждающими, из-за повышения объёма и интенсивности испарения с поверхности грунтов (при которой с поверхности грунта удаляются 539 калорий тепла на каждый грамм испарившейся воды, в том числе и опосредованно, при транспирации – т.е. испарении влаги растениями);
3) охлаждающими, из-за повышения удельной теплоёмкости и понижения температуропроводности грунта вследствие повышения содержания влаги. Фильтрация холодной (недавно оттаявшей) надмерзлотной воды в талой зоне, также охлаждает её (в отличие от инфильтрации в оттаявший дренирующий грунт тёплых поверхностных вод). Это необходимо различать при назначении теплозащитных мероприятий.

Инфильтрация холодных талых или надмерзлотных вод, с повышением в итоге содержания влаги в грунте, приводит к повышению теплоёмкости грунта, а также к повышенной охлаждающей его испаряемости. В результате, влажные грунты нагреваются весной и прогреваются летом меньше и медленнее, чем сухие. Скрытая теплота фазовых переходов также оказывает большое влияние на сохранение температур грунта около 0°С в начале холодного период, и также вызывает значительное запаздывание оттаивания, по времени, весной при начале нагревания поверхности грунта. Это запаздывание по времени промерзания и оттаивания водонасыщенных грунтов называется *эффектом нулевой завесы*. В талых породах за счёт миграционного потока влаги переносится не более 10-15% от всего теплопотока, поэтому чаще всего при математическом описании процессов распространения тепла, миграцию влаги не учитывают (ввиду незначительности, и из-за большой сложности корректного математического описания всей совокупности происходящих при этом процессов).

Влияние миграции влаги к фронту промерзания. В промерзающих грунтах миграция воды к фронту замерзания и в итоге морозное поднятие (пучение) оказывают непосредственное влияние на тепловой режим грунтов, в частности, на скорость проникновения фронта промерзания. Миграция воды к фронту промерзания увеличивает количество тепла, выделяемого при замерзании, которое должно устраняться для того, чтобы фронт промерзания продвигался. Чем интенсивнее происходит миграция воды к фронту промерзания (что наиболее характерно для пылеватых и глинистых грунтов), тем больше тепла должно быть удалено от этого фронта. Образование ледяных линз и явления морозного пучения могут существенно задерживать более глубокое промерзание. Ввиду этого дополнительный вклад от скрытой теплоты фазовых переходов миграционного потока влаги следует учитывать в тех случаях, когда капиллярное поднятие воды и наличие близкого уровня

воды достаточны для поддержания значительного потока влаги. При сравнительно быстром наступлении значительных отрицательных температур капиллярный подток (миграция) и соответствующие повышенные затраты тепла на фазовые переходы воды не успевают оказать существенного влияния на снижение скорости промерзания (и соответственно значительное увеличение льдонакопления) в быстро промерзающем слое до его смыкания с верхней границей мерзлоты. Наибольшая скорость миграции влаги и наибольшее влагонакопление в промерзающем грунте происходит при некоторых оптимальных, зависящих от дисперсности грунта, значениях температуры, и температурного градиента (Пузаков, 1950; Бредюк, 1959; Цытович, 1957; Орлов, 1962 и др.). В частности, по экспериментальным данным В.П. Пузакова и В.О. Орлова, процесс миграции влаги в мелкодисперсных грунтах (глинистых и пылеватых) происходит наиболее интенсивно при температурах до минус (3-3,5) °С, при более низких температурах миграция влаги практически прекращается. В результате морозное пучение, при быстром промерзании деятельного слоя (без дополнительного подтока влаги), в северной и центральной подзоне вечной мерзлоты, как правило, незначительно и сравнительно равномерно.

Температуропроводность **(а)** - выражает повышение температуры единицы объёма материала (грунта) в талом или мёрзлом состоянии, вызванное переданным количеством тепла. Температуропроводность пропорциональна теплопроводности λ и обратно пропорциональна объёмной теплоёмкости C, и равна $a = \lambda/C$, м^2/ч. Температуропроводность характеризует скорость, с которой материал (грунт) может изменять свою температуру в ответ на внешние изменения температур.

Теплопроводность – λ характеризует способность материала передавать тепло кондуктивным путем и представляет собой количество тепла, которое будет распространяться (проходить) в единицу времени через единицу площади материала при единичном температурном градиенте. Теплопроводность грунта, как и кондукция, не зависит от того, находятся ли в движении какие-либо жидкости, содержащиеся в порах данного грунта. С ростом температуры выше 0°С теплопроводность грунтов (и материалов) имеет тенденцию незначительно увеличиваться, но очень слабо, и в инженерной практике этим можно пренебречь без особой погрешности. При замерзании теплопроводность грунта сильно зависит от суммарного содержания воды и её фазового состава. Почти не наблюдается изменения теплопроводности при промерзании воздушно-сухих грунтов. При постоянном содержании влаги увеличение плотности сухого грунта приводит к некоторому увеличению теплопроводности. При постоянной плотности сухого грунта, увеличение содержания в нём влаги приводит к увеличению теплопроводности. Эта зависимость справедлива как для мёрзлых, так и немёрзлых грунтов, вплоть до полного водонасыщения. В целом

теплопроводность грунтов зависит от их плотности, содержания влаги, температуры, соотношения жидкости, пара и состояния поровой воды (прочно и рыхло связанная, засоленная и т.д.). М. Керстен [29] определил средние значения теплопроводности для мёрзлых и немёрзлых песчаных, илистых (пылеватых) и глинистых грунтов и торфа в виде функций содержания влаги (влажности и коэффициента водонасыщения S_r) и плотности сухого (скелета) грунта на рис. А.1-А.6.

Степень водонасыщения (насыщения) S_r ,% определяется по графикам или по формуле

$$S_r = 100*W*\rho_s /e*\rho_w , \qquad (A.1)$$

где W – природная влажность грунта, д. е. (ГОСТ 5180);

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см^3 (ГОСТ 5180);

e – коэффициент пористости грунта, д.е.;

ρ_w – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см^3.

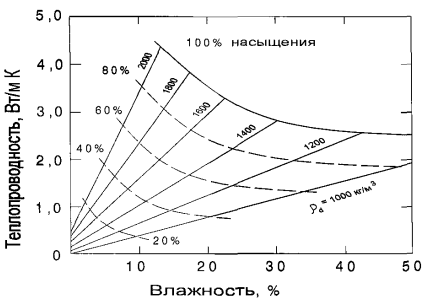


Рис. А.1 - Графики зависимости средних значений теплопроводности мёрзлых песчаных грунтов от влажности и плотности сухого грунта

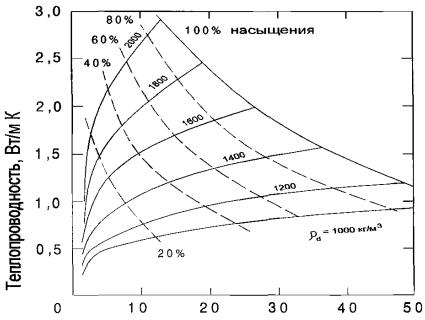


Рис. А.2 - Графики зависимости средних значений теплопроводности не мёрзлых песчаных грунтов от влажности и плотности сухого грунта

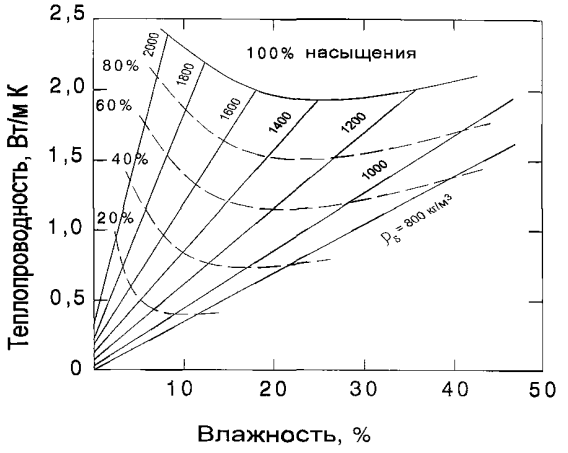


Рис. А.3 - Графики зависимости средних значений теплопроводности мёрзлых глинистых и илистых грунтов от влажности и плотности сухого грунта

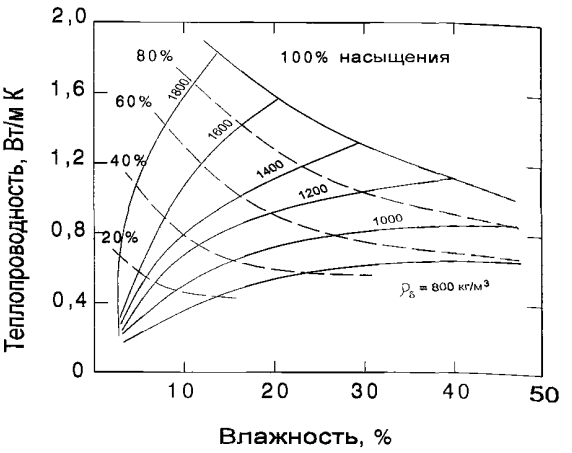


Рис. А.4 - Графики зависимости средних значений теплопроводности немёрзлых глинистых и илистых грунтов от влажности и плотности сухого грунта

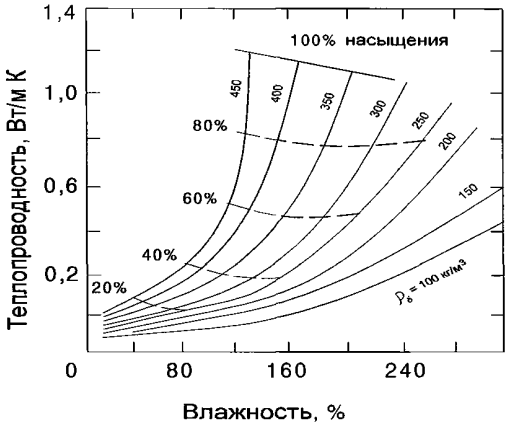


Рис. А.5 - Графики зависимости средних значений теплопроводности мёрзлого торфа от влажности и плотности сухого грунта

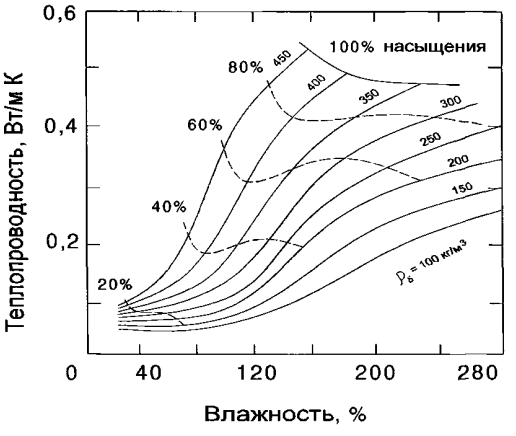


Рис. А.6 - Графики зависимости средних значений теплопроводности не - мёрзлого торфа от влажности и плотности сухого грунта

В табл. А.11 приводятся теплопроводность и объёмная теплоёмкость для ряда часто встречающихся материалов, имеющих непосредственное значение для инженерной деятельности в северных районах.

Таблица А.11 – Тепловые свойства ряда распространённых материалов

Материал	Теплопроводность, Вт/(м*К)	Объёмная теплоёмкость, кДж/(м^3 *К)
Вода	0,602	4180
Лед	2,22	1930
Воздух	0,024	1,26
Снег свежевыпавший	0,105	209
Снег уплотнившийся	0,335	420 –630
Гранит	2,51 – 2,93	2300 – 2680
Известняк	1,67 – 2,93	2400 – 4180
Доломит	5,02	2510
Песчаник	2,51	2510
Сланец	1,46	1840
Песок с W=5%	1,05	1820
Асфальтобетон	1,51	2650
Цементобетон	0,92	2180
Стекло	0,88	1760
Сталь	46,0	3890
Дерево (древесина)	0,13 – 0,23	500 –540
Синтет. теплоизоляция:		
Полистерен	0,30 – 0,06	60
Пеноплекс	0,025 - 0,03	60

Примечание: Для перевода в ккал/(м*ч*^{0}С) коэффициенты теплопроводности следует делить на 1,16 , а для перевода в ккал/(м^3*^{0}С) значения объёмной теплоёмкости делить на 4,19.

Теплоёмкость С представляет собой количество тепла, необходимое для повышения температуры данного материала на 1 °С. В пересчёте на единицу массы это количество называется *удельной теплоёмкостью* C_y, а при выражении на единицу объёма – *объёмной теплоёмкостью*.

Для сухих грунтов объёмная теплоёмкость грунта C равна произведению удельной теплоёмкости C_y на плотность сухого (скелета) грунта ρ_d , т.е. $C = C_y * \rho_d$.

Для не мёрзлых грунтов теплоёмкость можно хорошо аппроксимировать суммой произведений теплоёмкостей каждой отдельной составляющей грунта, т.е. частиц грунта, воды и воздуха, на составляющие величины весового содержания компонентов. Однако когда существует сложное изменение фазового состава в промерзающих грунтах, содержащее скрытую теплоту фазовых переходов лёд-вода, термин теплоёмкость теряет

свой прямой смысл. В этом случае используется термин *кажущаяся теплоёмкость*.

Удельная теплоёмкость частиц грунта изменяется обычно от 0,17 до 0,2 или используется её среднее значение 0,185.

Объёмная теплоёмкость для большинства не мёрзлых грунтов выражается соотношением:

$$C_t = \rho_d / \rho_w * (0{,}185 + W) * C_w, \qquad (A.2)$$

где ρ_d – плотность сухого (скелета) грунта, г/см^3;
ρ_w – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см^3;
W – влажность грунта, д.е.;
C_w – объёмная теплоёмкость воды, равная 4180 кДж/(м^3*К).

Для большинства мёрзлых грунтов объёмная теплоёмкость выражается соотношением:

$$C_f = \rho_d / \rho_w * (0{,}185 + 0{,}5*W_{tot}) * C_w, \qquad (A.3)$$

где W_{tot} – суммарная влажность грунта, д.е.

Среднее значение объёмной теплоёмкости для частично (со значительным содержанием незамёрзшей воды) мёрзлых грунтов выражается:

$$C_{cp} = \rho_d / \rho_w * (0{,}185 + 0{,}75*W_{tot}) * C_w. \qquad (A.4)$$

Среднее значение объёмной теплоёмкости следует применять для высокотемпературных (до минус 1,5 – 2,0 °С) мёрзлых грунтов.

Наземные покровы, как и любая теплоизоляция (например, пенопласт и пр.), уложенная на поверхность почвы, уменьшают глубину промерзания. В 1943г., англичане Лондон и Себан [31] предложили способ учёта теплоизоляции с помощью эквивалентного слоя S, определяемого выражением (см. формулу 7.14):

$$S = H_{из} * \lambda_м / \lambda_{из}, \qquad (A.5)$$

где $H_{из}$ – толщина теплоизоляции, м;
$\lambda_м$, $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности соответственно мёрзлого грунта и материала теплоизоляции, Вт/(м К) или ккал/м·ч·°С.

С введением понятия об эквивалентном слое изоляции S , формула Стефана применительно к расчёту глубины промерзания грунта H под слоем теплоизоляции преобразовывается как [32]:

$$H = - S + (S^2 + 2 * \lambda_f * T_n * \tau / L_o * W_{tot} * \rho_d)^{1/2}, \quad (A.6)$$

Недостатком этой формулы является то, что не редко, промерзание (или оттаивание) грунта под теплоизоляционными покрытиями запаздывает по сравнению со временем установления отрицательных температур воздуха. Причем под слоем мощной или малотеплопроводной теплоизоляции время запаздывания промерзания (или оттаивания) $\tau_{зп}$ может измеряться неделями и месяцами (см. п. 5.3.3 и 5.3.4 данного ОДМ). Для устранения этого недостатка вышеприведённая формула корректируется как:

$$H = - S + (S^2 + 2 * \lambda_f * T_n * (\tau - \tau_{зп}) / L_o * W_{tot} * \rho_d)^{1/2}. \quad (A.7)$$

По вышеприведённым приближенным формулам можно рассчитывать как прогнозную (ориентировочную) глубину промерзания грунта, так и глубину протаивания. При этом заменяют в них время промерзания на время протаивания, среднюю за период отрицательную (по модулю) температуру поверхности, на средне летнюю температуру поверхности, а также меняют коэффициент теплопроводности грунта в мёрзлом состоянии на аналогичный, но в талом состоянии.

Из опытных наблюдений и экспериментальных мерзлотных исследований по влиянию теплоизоляции (пенопласта, шлаков и др.) установлено [23,31]. *Любая постоянная во времени теплоизоляция, уложенная на поверхность почвы, оказывает отепляющее воздействие в районах с отрицательной средней температурой воздуха и охлаждающее – при положительных среднегодовых температурах воздуха.* Интенсивность охлаждения – нагревания зависит от толщины эквивалентного слоя изоляции, а также от совокупности метеорологических, геокриологических и других факторов природной обстановки, и как правило, не превышает 2 °С. Например, в стадии устойчивого равновесия разница между температурой поверхности почвы в естественных условиях и под покровом из пенопласта толщиной 0,1-0,2 м для условий Якутска составляет 1,2-1,3 °С. При этом на низкотемпературной вечной мерзлоте глубина протаивания почвы под слоем пенопласта в 0,2 м может уменьшиться в 2-3 раза и более[31].

Расчётные формулы не могут дать точность большую, чем точность задания основных исходных параметров, с учётом степени их влияния на процесс промерзания-протаивания. В результате ошибка определения данного процесса (глубины промерзания-протаивания грунта), может в среднем составлять 15-20% [31, 32].

Приложение Б

Примеры расчетов прогнозных методик по разделам 7 и 8

Б.1 Пример расчета тепловой устойчивости дорожных сооружений.

Требуется выполнить проект участка автомобильной дороги III технической категории в районе г. Надым, при наличии в основании вечномёрзлых грунтов. По расчёту, высота снегонезаносимой насыпи составляет 1,46 м. Округлённо принимается минимальная высота насыпи, равная 1,50 м. Толщина верхней части из песка $h_в$ на прослойке из геотекстиля по универсальному принципу проектирования принимается равной 0,60 м. Нижняя часть из глинистого грунта составит при этом 1,50 м – 0,60 м =0,90м.

Рассчитаем глубину оттаивания и промерзания данной конструкции в условиях протекающего глобального потепления.

Исходные данные:

- средняя продолжительность тёплого (с температурой воздуха выше 0°С) периода в районе г. Надыма составляет 3264 часа, холодного 5496 часов;
- среднемесячная температура за самый тёплый летний месяц (июль) плюс 14,7°С;
- средняя отрицательная температура за холодный период минус 14,9°С (с учётом прогнозного потепления, т.е. с вычетом 3°С, округлённо составит минус 12 °С);
- высота насыпи из условия снегонезаносимости – 1,5 м;
- толщина верхнего слоя насыпи из песка – 0,6 м., нижнего слоя насыпи из суглинка – 0,9 м., мохорастительного покрова (МРП) в основании – 0,15 м, грунт основания - суглинок;
- объёмная плотность сухого грунта: песка – 1720 кг/м^3, суглинка нижней части насыпи – 1480 кг/м^3, суглинка основания – 1420 кг/м^3, МРП или торфа в основании – 270 кг/м^3;
- расчётная влажность песка – 8%, суглинка насыпи – 24%, суглинка основания – 30%, МРП или торфа – 320%;
- коэффициенты теплопроводности Вт/(м·°С) и объёмной теплоёмкости кДж/(м^3·°С) грунтов в талом и мёрзлом состоянии:

  песок – $\lambda_т$ =1,45; $\lambda_м$=1,65; $C_т$=2155; $C_м$=1800;

  суглинок насыпи – $\lambda_т$ =1,35; $\lambda_м$=1,50; $C_т$=2765; $C_м$=2050;

  суглинок основания – $\lambda_т$ =1,45; $\lambda_м$=1,55; $C_т$=3015; $C_м$=2175;

  МРП или торф – $\lambda_т$ =0,95; $\lambda_м$=1,40; $C_т$=4145; $C_м$=2380;
- количество скрытой теплоты фазовых переходов влаги в 1 м^3, кДж/м^3:

  песок – 45960;

  суглинок насыпи – 118640;

суглинок основания – 142280;

МРП или торф – 288580;

для соблюдения размерности при теплотехнических расчётах необходимо значения теплофизических характеристик грунтов перевести: коэффициент теплопроводности из Вт/(м·°С) в ккал/(м·час·°С); объёмную теплоёмкость из кДж/(м^3·°С) в ккал/(м^3·°С); скрытую теплоту льдообразования из кДж/м^3 в ккал/м^3 в соответствии с примечанием к табл. 1 Приложения Д Теплотехнические расчёты оснований на вечномёрзлых грунтах, СП 121.13330.2012, что составит:

песок – $\lambda_т$ =1,25; $\lambda_м$=1,42; $C_т$=518; $C_м$=430;

суглинок насыпи – $\lambda_т$ =1,16; $\lambda_м$=1,29; $C_т$=660; $C_м$=489;

суглинок основания – $\lambda_т$ =1,25; $\lambda_м$=1,34; $C_т$=720; $C_м$=520;

МРП и торф – $\lambda_т$ =0,82; $\lambda_м$=1,21; $C_т$=989; $C_м$=568;

- количество скрытой теплоты фазовых переходов влаги при промерзании грунта в 1 м^3, ккал/м^3:

песок – 11008;

суглинок насыпи – 28416;

МРП и торф – 69120;

Глубину сезонного оттаивания грунтовых слоёв дорожной насыпи и её основания определяют по формуле 7.3.

- Глубина оттаивания песка:

$$H_п=\frac{2\sqrt{3264}}{11008}\sqrt{1{,}25\cdot 14{,}7\left(\frac{11008}{3}+0{,}13\cdot 14{,}7\cdot 518\right)}=2{,}93 \text{ м}.$$

- Глубина оттаивания суглинка в нижней части насыпи:

$$H_{сн}=\frac{2\sqrt{3264}}{28416}\sqrt{1{,}16\cdot 14{,}7\left(\frac{28416}{3}+0{,}13\cdot 14{,}7\cdot 660\right)}=1{,}72 \text{ м}.$$

- Глубина оттаивания МРП или торфа:

$$H_т=\frac{2\sqrt{3264}}{69120}\sqrt{0{,}82\cdot 14{,}7\left(\frac{69120}{3}+0{,}13\cdot 14{,}7\cdot 989\right)}=0{,}93 \text{ м}.$$

- Глубина оттаивания суглинка основания насыпи:

$$H_{со}=\frac{2\sqrt{3264}}{34080}\sqrt{1{,}25\cdot 14{,}7\left(\frac{34080}{3}+0{,}13\cdot 14{,}7\cdot 720\right)}=1{,}62 \text{ м}.$$

Толщина оттаивания глинистого основания под насыпью составит (формула 7.5):

$$h_{со}=1{,}62\left(1-\frac{0{,}6}{2{,}93}-\frac{0{,}9}{1{,}72}-\frac{0{,}15}{0{,}93}\right)=0{,}18 \text{ м}$$

Полная глубина оттаивания многослойной системы с МРП и глинистым грунтом в основании составит:

$H_{от}=H_{сн}+H_{мрп}+h_{со}=1{,}50+0{,}15+0{,}18=1{,}83$ м.

Глубина сезонного промерзания многослойной системы из слоёв дорожной насыпи и грунтового основания определяют по формуле 7.6.

Подставляя значения характеристик в числитель подкоренного выражения получим:

$$2\lambda_м^{ср}T_э\tau_э = 2\left(\frac{0,6}{1,83}\cdot 1,42+\frac{0,9}{1,83}\cdot 1,29+\frac{0,15}{1,83}\cdot 1,21+\frac{0,18}{1,83}\cdot 1,34\right)\cdot 12\cdot 5496 = 175562,06;$$

для знаменателя получим:

$$\sum_{i=1}^{n}\frac{H_i}{H_{от}}\left(q_i + 0,5C_{мi}T_э\right) = \frac{0,6}{1,83}\left(11008+0,5\cdot 430\cdot 12\right)+\frac{0,9}{1,83}\left(28416+0,5\cdot 489\cdot 12\right)+$$

$$\frac{0,15}{1,83}\left(69120+0,5\cdot 568\cdot 12\right)+\frac{0,18}{1,83}\left(34080+0,5\cdot 520\cdot 12\right) = 29477,05.$$

Глубина промерзания в результате составит:

$$H_{пр} = \sqrt{\frac{175562,06}{29477,05}} = 2,44\text{ м}$$

Проверка тепловой устойчивости конструкции дорожной насыпи с сохранением слоя мохо-растительного покрова (МРП или торфа) и суглинком в основании по условию 7.10:

$$\frac{H_{пр}}{H_{от}} = \frac{2,44}{1,83} = 1,33 > 1,1 \text{ (или } 1,3)$$

Расчётная эксплуатационная тепловая устойчивость данной конструкции дорожной насыпи на вечной мерзлоте в районе г. Надыма, обеспечивается.

Проверка (расчёт) тепловой устойчивости дорожной насыпи в районе Надыма по условию экспресс критерия (7.1):

- сумма отрицательных градусо-часов поверхности грунта

$\Omega_м$= - 86786,4

- сумма положительных градусо-часов поверхности грунта

$\Omega_т$ = 29570,4

Климатический мерзлотный индекс для Надыма

I = 86786,4 / 29570,4 = 2,94

Температуропроводность $a_т = \lambda_m / C_m$ конструктивных слоёв дорожной насыпи и грунтового основания в талом состоянии составит:

- песка $a_т$ = 1,25 / 518 = 0,0024;
- суглинка насыпи $a_т$ = 1,16 / 660 = 0,0018;
- суглинку основания $a_т$ = 1,25 / 720 = 0,0017;
- мохо-растительного покрова или торфа $a_т$ = 0,82 / 989 = 0,0008;

Температуропроводность $a_м = \lambda_м / C_м$ конструктивных слоёв дорожной насыпи и грунтового основания в мёрзлом состоянии составит:

- песка $a_м$ = 1,42 / 430 = 0,0033;
- суглинка насыпи $a_м$ = 1,29 / 489 = 0,0026;
- суглинку основания $a_м$ = 1,34 / 520 = 0,0014;
- мохо-растительного покрова или торфа $a_м$ = 1,21 / 568 = 0,0021;

Суммарное температуропроводное сопротивление конструктивных слоёв дорожной насыпи и грунтового основания в талом состоянии составит:

$\Sigma R_{ат}$ = 0,6 / 0,0024 + 0,9 / 0,0018 + 0,15 / 0,0008 + 0,18 / 0,0017 = 1043,4;

Суммарное температуропроводное сопротивление конструктивных слоёв дорожной насыпи и грунтового основания в мёрзлом состоянии составит:

$\Sigma R_{ам}$ = 0,6 / 0,0033 + 0,9 / 0,0026 + 0,15 / 0,0021 + 0,18 / 0,0014 = 728;

$1{,}3\Sigma R_{ат}/\Sigma R_{ам}$ = 1,3 * 1043,4 / 728 = 1,86

$I = \frac{|\Omega_м|}{\Omega_т} \geq 1{,}3\Sigma R_{ат}/\Sigma R_{ам}$ соответствует I =2,94 ≥ 1,86

Тепловая устойчивость запроектированной конструкции дорожной насыпи в существующих условиях (без учёта прогнозного потепления) обеспечивается. Для учёта протекающего глобального потепления, происходящего на территории Севера РФ, преимущественно за счёт потепления зимних периодов, в среднем на 3-5°С, прогнозную среднезимнюю отрицательную температуру воздуха необходимо повышать (вычитанием из среднезимней) на 3 – 5°С.

В результате сумма прогнозных годовых отрицательных градусо-часов $\Omega_м$ поверхности грунта, с учётом глобального потепления (на ближайшие 50 лет) составит:

(31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 31 + 30 + 31)дн * 24 ч * (14,9°С – 3°С) = 69984

Климатический мерзлотный индекс для района Надыма с учётом прогнозного глобального потепления в итоге составит:

I = 69984 / 29570,4 = 2,37 , что больше $1{,}3\Sigma R_{ат}/\Sigma R_{ам}$ =1,86

Таким образом, тепловая устойчивость проверяемой конструкции дорожной насыпи с учётом прогнозируемого глобального потепления, также обеспечивается по критерию (7.1).

Учёт температурной сдвижки за счёт инфильтрации в насыпь отсыпанную из дренирующих (крупнообломочных, скальных или песчаных) грунтов тёплых летних осадков с проверкой тепловой устойчивости.

Для района Надыма, где объём жидких осадков за лето составляет 240мм (с учётом прогнозного 15% повышения – 276 мм или 276 кг/м^2). Температура осадков 15°С. Сезонная глубина оттаивания песчаного грунта в районе Надыма – 1,8м, а его коэффициент теплопроводности в талом состоянии 1,25.

Определяем температурную сдвижку Δt по зависимости (7.8):

$\Delta t = V*(t_{ос} - t_{гр})*H_{от} / \lambda_т * \tau_{от}$ = 276*(15 – 0)*1,8/ 1,25*365*24 = 0,7°С

Климатический мерзлотный индекс для района Надыма с учётом температурной сдвижки в итоге составит:

(30 + 31 + 31 + 30)дн * 24 ч * (40,2/4 + 0,7) = 31622,4

I = 69984 / 31622,4 = 2,21 , что больше $1{,}3\Sigma R_{ат}/\Sigma R_{ам}$ =1,86

Тепловая устойчивость проверяемой (запроектированной) конструкции дорожной насыпи, с учётом повышенной поверхностной инфильтрации тёплых летних осадков в дренирующий песчаный грунт её верхней части, в районе Надыма обеспечивается.

Тепловую устойчивость конструкции насыпи от выпадающих тёплых осадков, дополнительно (в случае не прохождения по расчёту) можно повысить устройством укреплённых, водонепроницаемых обочин и укреплением (с уположением) откосов насыпи торфоглинистой смесью, хорошо зарастающей, устойчивой к размывам и эффективно работающей в режиме «теплового диода». От инфильтрации тёплых жидких осадков в нижнюю часть насыпи и весеннего подтопления, эффективно защищает отсыпка (устройство) её из практически мало водонепроницаемого глинистого грунта, срабатывающего одновременно и в качестве «теплового диода», что дополнительно повышает тепловую и общую устойчивость дорожной конструкции.

Б.2 Влияние отдельных компонентов природной среды на температурный режим многолетнемерзлых пород в наиболее неустойчивой южной подзоне вечной мерзлоты РФ (подзона I_3 по ВСН 84-89) может учитываться следующим образом.

За счет изменения условий инсоляции среднегодовая температура ($t_{ср}$) земной поверхности повышается на 1,0-2,5°С (Δt_R) и физическое значение амплитуды годовых колебаний этой температуры ($A_п$) увеличивается на 3-4°С (ΔA_R) на склонах южной экспозиции по сравнению со значениями этих характеристик на горизонтальной поверхности и склонах северной экспозиции. Эта закономерность наиболее четко выражена в низкогорьях и менее четко прослеживается в долинах.

Снежный покров на равнинах повышает среднегодовую температуру поверхности пород ($t_{ср}$) на 2-5°С ($\Delta t_{сн}$) и на столько же сокращает $A_п$; в логах и долинах за счет снега $t_{ср}$ повышается, а амплитуда$A_п$ сокращается на 3-4,5°С. На склонах низкогорий снежный покров приводит к повышению среднегодовой температуры пород на 1-3°С и соответственно к уменьшению амплитуды.

Отепляющее влияние теплых летних дождей на среднегодовую температуру пород ($\Delta t_{ос}$) может достигать 1,0-1,7°С на плоских и слабонаклонных открытых участках, сложенных с поверхности крупнообломочными отложениями.

Факторы приводящие к понижению значений $t_{ср}$ – это растительный покров и теплопроводность мерзлых пород, превышающая теплопроводность талых, при сезонных изменениях их теплового состояния. Лесной покров способствует понижению среднегодовой температуры поверхности почвы (из-за уменьшения поступающей солнечной радиации) на 0,6-1,4°С, мохово-кустарниковый покров (в качестве термического сопротивления) на 0,1-0,7°С, сфагновые мхи до 2°С. Уменьшение амплитуды годовых колебаний температуры соответствует этим значениям.

Понижение среднегодовой температуры пород на подошве слоя сезонного оттаивания или сезонного промерзания за счет изменения

теплопроводности пород (соответственно их тепловому состоянию), так называемая теплодиодная сдвижка, составляет 0,5-0,6°С в крупнообломочных образованиях, 0,8-1,5°С в глинистых отложениях и 1,5-2,5°С в торфах.

Суммарное влияние всех природных факторов обусловливает существование многолетнемерзлых или немерзлых (в том числе талых) горных пород. Так, например, при среднегодовой температуре воздуха ($t_в$) -2,9°С, в южной мерзлотной подзоне I_3, на склонах южной экспозиции с редким разнородным лесом и крупнообломочным составом покровных образований $t_{ср}$ может составить:

$$t_{ср} = t_в + \Delta t_R + \Delta t_{сн} - \Delta t_{раст} = -2,9+1+1-1,2 = -2,1°С$$

а на подошве слоя сезонного оттаивания $t_д$, соответственно:

$$t_д = t_в + \Delta t_R + \Delta t_{сн} + \Delta t_{ос} - \Delta t_{раст} - \Delta t_\lambda = -2,9+1+1+1-1,2 - 0,6 = -1,7°С$$

Приведённые факторы и осуществляемые по ним поправки к среднегодовым температурам пород (а также к средней за холодный и средней за тёплый период температуре их поверхностей), позволяют назначать уточнённые расчётные температуры. Последнее, как правило, более близко к реальным натурным условиям.

Б.3 Пример проверки откосов выемки и дорожной насыпи на косогоре на устойчивость к оползанию при сезонном оттаивании

Необходимо найти крутизну откоса, обеспечивающую его устойчивость. Грунт - суглинок с плотностью 1800 кг/м^2 и влажностью 27%. Из таблицы7.1 имеем: $\varphi = 12°$; $tg\,\varphi = 0,213$; с = 500 кгс/м^2.

Глубина сезонного оттаивания откоса Нт = 2,37 м.

По формуле (7.13) получаем Р = 2,37*1800 = 4266 кгс/м^2.

По формуле (7.12) вычисляем сопротивление грунта сдвигу

$\tau_{сд}$ = 500 + 4266*0,213 = 1409 кгс/м^2.

По формуле (7.11) находим

$$sin\beta < \frac{1409}{1800 * 2,37} = 0,330 \quad \text{при этом } \beta = 19°17'$$

Отсюда tgβ= 0,350. Требуемая крутизна откоса m = 1/ tgβ = 1/0,350 = 2,86. Округлённо следует принять крутизну откоса 1: 3.

Устойчивость косогоров, сложенных мёрзлыми грунтами, проверяется на подвижность верхних слоёв грунта при их оттаивании. Косогор не будет подвержен движению земляных масс (солифлюкции), если угол падения склона будет удовлетворять неравенству (7.11).

Например, склон южной ориентации, крутизной 1:5 сложен льдистыми супесчаными грунтами с суммарной влажностью 35-40%. Проверить расчетом, будет ли склон подвержен солифлюкции.

Так как tg β = 1/5 = 0,2, то угол падения склона β = 11° 19'. Глубина сезонного оттаивания грунта в данном районе с учетом поправок на ориентацию склона и влажность равна: $H_{от}$ = 1,10*0,80*1,5 = 1,32 м. Плотность грунта ρ по данным мерзлотно-грунтовых изысканий составила 1600 кг/м^3.

По таблице 7.1 для такого грунта φ = 8° и с = 0. Сопротивление грунта сдвигу по формуле (7.12):

$\tau_{сд}$ = 0+ 1,32 * 1600 * tg8° = 297 кгс/м^2

По формуле (7.11)находим

$$sin\beta < \frac{297}{1600 * 1,32} = 0,1405 \text{ при этом } \beta = 8°05'$$

Неравенство (7.11) не соблюдено: 11°19' > 8°05' и, следовательно, косогор будет подвержен движению земляных масс.

Б.4 Расчёт снижения величины осадки насыпи (и повышения её равномерности) путём армирования геосинтетическими материалами и их комбинациями

На мерзлотных участках местности с преимущественно льдонасыщенными (переувлажнёнными, просадочными при оттаивании) грунтами необходимо запроектировать насыпь с руководящей отметкой (высотой) 1,8 м с максимальным использованием местных, находящихся в некондиционном состоянии (мёрзлых и/или переувлажнённых) грунтов.

Дорожная насыпь проектируется по универсальному (экологическому) принципу проектирования [1]. Верхняя часть насыпи толщиной 0,8 м отсыпается из качественных (кондиционных) не пучинистых скальных, крупнообломочных или песчаных грунтов. Нижняя часть из наиболее распространённых местных мёрзлых глинистых грунтов. Первоначальная (на первые 1-2 года и более) дорожная одежда переходного типа из ЩПС (ГОСТ 25607-2009), по нормативно допустимой суммарной осадке (нестабильных слоёв насыпи и оттаивающего слоя основания), принимается в соответствии с табл. 25, СНиП 2.05.02-85, в зависимости от начальной толщины нестабильных слоёв насыпи.

По данным инженерно-геологических изысканий грунтов залегающих по трассе проектируемой дороги, модуль деформации оттаивающих льдонасыщенных глинистых грунтов деятельного (сезонноотаивающего) слоя, в талом состоянии составил E_o = 0,62 МПа или 6,2 кг/см^2.

Модуль деформации разрыхлённого мёрзлого льдонасыщенного глинистого грунта, отсыпаемого на мохорастительный покров (МРП) в нижнюю часть строящейся дорожной насыпи со средней пустотностью слоя отыпки в 20%, в первом приближении (в виду его прямой пропорциональности осадке), составит:

$$E_o = (1 - 0,2) * 0,62 = 0,50 \text{ МПа или } 5,0 \text{ кг/см}^2.$$

Глубина сезонного оттаивания (рассчитываемая без насыпи, на случай летней отсыпки) по теплотехническому расчёту в переувлажнённом глинистом грунте совместно с мохорастительным покровом составила 117см.

1. Расчётную осадку S_1 оттаивающего льдонасыщенного, грунтового основания насыпи в сезоннооттаивающем под насыпью слое определяют по формуле (7.19):

$$S_1 = \delta_o * H / E_o$$

где H – глубина оттаивания мёрзлого грунта в основании насыпи (по теплотехническому расчёту), см;

E_o – модуль деформации слабого грунта основания под расчётной нагрузкой, МПа (кг/см^2);

δ_o – общее напряжение (нагрузка) на сезоннооттаивающий (деятельный) слой основания от веса насыпи и подвижной нагрузки, МПа (кг/см^2).

$$\delta_o = \delta_{св} + \delta_{пн}$$

где $\delta_{св}$ – напряжения (нагрузка) от собственного веса насыпи, МПа (кг/см^2);

$\delta_{пн}$ – напряжение (нагрузка) от подвижной нагрузки, МПа (кг/см^2).

$$\delta_{св} = \Sigma \rho * h$$

где ρ – плотность (вес) слоёв грунта и д/о насыпи, кг/см^3;

h – толщина слоев грунта и д/о насыпи, см.

$$\delta_{св} = 0,002 \text{кг/см}^3 * 80 \text{см} + 0,0018 \text{кг/см}^3 * 100 \text{см} = 0,34 \text{ кг/см}^2$$

$$\delta_{пн} = \delta_a * P_п * \eta$$

где δ_a – величина нормального напряжения от воздействия (колеса) подвижной нагрузки на расчётной глубине (принимают по табл. 3), МПа (кг/см^2);

$P_п$ – давление в пневматических шинах подвижной нагрузки (равное 0,6 – 0,8 МПа), в МПа (кг/см^2);

η – коэффициент динамичности от воздействия подвижной нагрузки (принимаемый, в среднем 1,5).

Таблица Б.1

Относительная глубина * Ψ	Величина нормальных напряжений δ_a в слое грунта над армирующей прослойкой в долях от давления на поверхности насыпи, МПа (кг/см^2)
0,25	0,1 (1,0)
0,50	0,1 (1,0)
0,75	0,1 (1,0)
1,0	0,097 (0,97)
1,5	0,068 (0,68)
2,0	0,047 (0,47)
2,5	0,033 (0,33)
3,0	0,025 (0,25)
4,0	0,015 (0,15)
5,0	0,010 (0,10)
7,0	0,005 (0,05)
10	0,0025 (0,025)
20	0,001 (0,01)

*Относительная глубина Ψ равна отношению расстояния от поверхности насыпи до расчётного сечения (места расположения армирующей прослойки) h_a к радиусу R круга, равновеликого площади отпечатка одиночного колеса тяжёлой подвижной нагрузки, т.е. $\Psi = h_a / R$

Давление (нормальное напряжение) от колеса тяжёлой подвижной нагрузки (с радиусом отпечатка колеса, составляющим обычно от 15 до 18 см) на грунтовое основание дорожной насыпи по таблице Б.1, для данной насыпи будет равно:

$\Psi = 180/17 = 10,6$ по табл. Б.1, $\delta_a = 0,025$ кг/см^2

$\delta_{пн} = \delta_a * P_п * \eta = 0,025$кг/см^2 * 6кг/см^2 * 1,5 = 0,23 кг/см^2

$\delta_o = \delta_{св} + \delta_{пн} = 0,34$ кг/см^2 + 0,23 кг/см^2 = 0,57 кг/см^2

$S_1 = \delta_o * H / E_o = 0,57 * 117/6,2 = 10,8$см

2. Расчётная осадка нижней части дорожной насыпи S_2 отсыпанной из разрыхлённых мёрзлых (и переувлажнённых) глинистых грунтов соответственно составит:

$S_2 = \delta_o * H / E_o = 1,06 * 100/5,0 = 21,2$см

$\delta_o = \delta_{св} + \delta_{пн} = 0,16$кг/см^2 + 0,90кг/см^2 = 1,06 кг/см^2

$\delta_{св} = 0,002$кг/см^3 * 80см = 0,16 кг/см^2

$\delta_{пн} = \delta_a * P_п * \eta = 0,10$кг/см^2 * 6кг/см^2 * 1,5 = 0,90 кг/см^2

$\Psi = 80/17 = 4,7$ по табл. Б.1, $\delta_a = 0,10$ кг/см^2

Для обеспечения эксплуатационной (после строительной) высоты насыпи в 1,80 м, при строительстве необходимо сразу отсыпать нижнюю часть насыпи с запасом на общую осадку.

Для данного примера она составляет: $S_1 + S_2 = 10,8см + 21,2см = 32$ см.

При досыпке данного запаса на осадку в 32 см, из мёрзлого разрыхлённого (переувлажнённого) глинистого грунта, данный слой досыпки также даст осадку.

Её величина составит: 32см * 21,2см/100см = 6,8 см.

Общая величина строительной досыпки нижней части насыпи, с запасом на последующую общую осадку дорожной насыпи, в результате составит: 32см + 6,8см = 38,8 см или округлённо 39 см.

Расчётная величина общей осадки в 39см не позволяет, по условиям допустимой суммарной осадки (в соответствии с требованиями табл. 25 СНиП 2.05.02-85)[26], устройство на поверхности данной насыпи дорожной одежды даже низшего (переходного типа), допускающего суммарную осадку основания и нестабильного слоя насыпи толщиной до 1,5 м, не более 24см.

Для снижения величины осадки (и её неравномерности) на поверхности нижней части дорожной насыпи закладывают устройство армирующей прослойки из тканого геосинтетического материала марки 300.

Тогда в соответствии с формулой (7.23) и таблицы А.9, снижение величины осадки, в результате армирования составит:

$$S_a = \frac{S}{K_a} \text{ или } S_a = 39/1,35 = 28,9см$$

Данная величина общей осадки, также не является приемлемой (допустимой по СП 34.13330.2012). Для дополнительного снижения величины общей осадки, увеличиваем величину коэффициента армирования K_a с 1,4 до 1,75 (см. таблицу А.9) путем дополнительной укладки на поверхность геотекстильной прослойки плоской георешетки или геосетки, тогда:

$S_a = 39 / 1,75 = 22,3$ см

Данная величина общей осадки в соответствии с табл. 7.6 СП 34.13330.2012, менее допустимых 24 см и является приемлемой для устройства переходных дорожных одежд.

При недостаточности данного армирования, дополнительно, может быть заложено устройство прослойки из геосинтетического материала или плоской геосетки или геокомпозита (геосетки с подложкой из геосинтетического материала, например ГЕО ДСК, ГЕО СТП и др.) и в основание переходной дорожной одежды из ЩПС (по ГОСТ 25607-2009). Также возможно и устройство геотекстильной прослойки в основании насыпи с соответствующим расчётом снижения величины (и неравномерности) осадки.

Армирование насыпи геосинтетиками обеспечивает дорожной конструкции повышенную эксплуатационную устойчивость, позволяющую значительно (в 1,5 раза и более) увеличить её межремонтные сроки. В условиях протекающего глобального потепления климата, сопровождающегося деградацией и длительной неравномерной просадкой вечномерзлых оснований, армированные насыпи, приспособленные для гашения неравномерных строительных осадок, будут также эффективно гасить и неравномерности возможных эксплуатационных осадок.

Б.5 Расчет оснований на пучинистых грунтах в условиях вечной мерзлоты

Наличие в грунтовом основании дорожной насыпи различной степени морозоопасности глинистых грунтов: от слабо до сильнопучинистых подтверждено результатами проведенных изысканий и обследований.

Исходные данные:

Дорожная насыпь расположена в I_3дорожно-климатической подзоне. Природные гидрогеологические условия местности соответствуют II типу.

1. Конструкция дорожной одежды:

Асфальтобетон $t_1 = 0,15$ м

Щебень обработанный битумом h = 0,15 м
Щебень расклинцованный h = 0,30 м } $t_2 = 0,45$м

Песок (желательно на геосинтетической прослойке) $t_3 = 0,35$ м

Грунт насыпи - суглинок пылеватый тугопластичный. Грунт естественного основания - суглинок пылеватый мягкопластичный. Естественная влажность суглинка основания W = 0,330, число пластичности $I_p = 0,156$. Плотность сухого суглинка $\rho_d = 1380$ кг/м^3.

2. Климатические условия:

Абсолютная средняя температура поверхности покрытия за период промерзания (СНиП 23-01-99*) с учётом потепления $\theta_{mp} = 10,3$°С.

Продолжительность периода отрицательных температур на поверхности покрытия $\tau_f = 4080$ час.

3.Теплофизические характеристики материалов слоев конструкции дорожного покрытия, насыпи и естественного основания в мёрзлом состоянии приведены в таблице Б.2

Таблица Б.2

Наименование грунтов и материалов	Плотность сухого грунта ρ_d ,кг/м^3.	Влажность, д.е.		Коэффициент теплопроводности и λ_f, Вт/(м°С)	Теплоемкость C_f,кДж/(м^3°С)
		W	W_w		
Асфальтобетон	2200	0,03	0,00	1,40	3390
Щебень	1800	0,10	0,00	2,35	1675
Песок	1650	0,11	0,00	1,65	1800
Суглинок тяжелый пылеватый	1380	0,33	0,15	1,70	2345

4. Расчетная схема

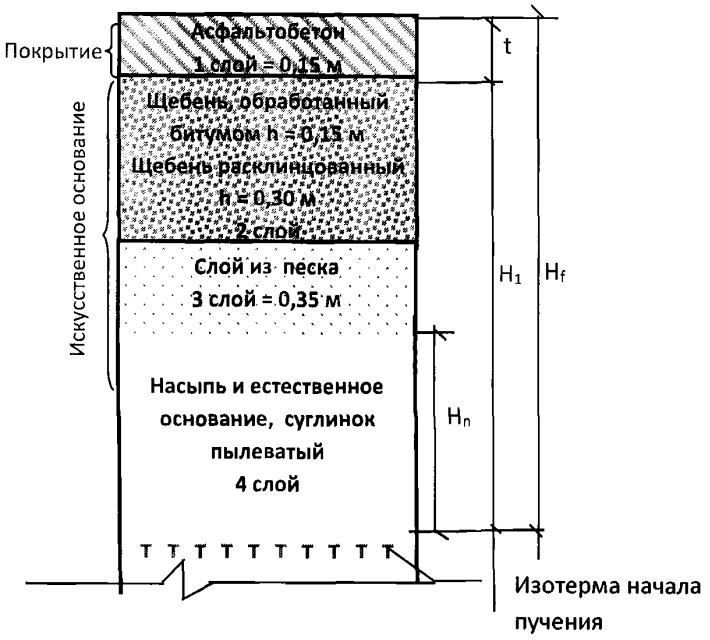


Рис.Б.1- Расчётные слои покрытия, искусственного и естественного основания

Расчет.

1. Определяется высота последнего (n-го) пучинистого слоя грунта H_n, по формуле (7.25).

Температуру начала пучения по таблице 7.2 принимаем в запас прочности для мягкопластичных суглинков: t_0 = - 0,6°С.

$$H_n = 1.9\sqrt{2\lambda_f \tau_f}\left(\sqrt{\frac{\theta_{mp}}{\eta_f}} - \sqrt{\frac{t_0}{\eta_{f0}}}\right) - \sum_{i=1}^{m-1} t_i \sqrt{\frac{\lambda_f \cdot \eta_{fi}}{\lambda_{fi} \cdot \eta_f}},$$

где m – число слоев дорожной одежды, насыпи и основания;

$\eta_f = 0.5 \cdot \theta_{mp} \cdot C_f + \rho_d (W - W_w) \cdot 334$ – количество тепла, выделяемого при фазовых переходах и охлаждения последнего (нижнего) слоя естествоенного основания, кДж/м^3;

$\eta_{f0} = 0.5 \cdot t_0 \cdot C_f + \rho_d (W - W_w) \cdot 334$ – количество тепла, выделяемого при фазовых переходах и охлаждении грунта, расположенного ниже изотермы начала пучения, кДж/м^3;

$\eta_{f0} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 2345 + 1380(0,33 - 0,15) \cdot 334 = 83670$ кДж/м^3;

Суглинок слой 4.

$\eta_f = 0,5 \cdot 10,3 \cdot 2345 + 1380(0,33 - 0,15) \cdot 334 = 95043$ кДж/м^3;

Асфальтобетон слой 1.

$\eta_{f1} = 0,5 \cdot 10,3 \cdot 3390 + 2200 \cdot 0,03 \cdot 334 = 39503$ кДж/м^3;

Щебень слой 2.

$\eta_{f2} = 0,5 \cdot 10,3 \cdot 1675 + 1800 \cdot 0,10 \cdot 334 = 68746$ кДж/м^3;

Песок слой 3.

$\eta_{f3} = 0,5 \cdot 10,3 \cdot 1800 + 1650 \cdot 0,11 \cdot 334 = 69891$ кДж/м^3;

$$H_n = 1.9\sqrt{2 \cdot 1,7 \cdot 4080}\left(\sqrt{\frac{10,3}{95043}} - \sqrt{\frac{0,6}{83670}}\right) - \left(0,15\sqrt{\frac{1,5 \cdot 39503}{1,4 \cdot 95043}} + 0,45\sqrt{\frac{1,5 \cdot 68746}{2,35 \cdot 95043}} + \right.$$

$$\left. + 0,35\sqrt{\frac{1,5 \cdot 69891}{1,65 \cdot 95043}}\right) = 0,87м$$

H_f= 0,15 + 0,45 + 0,35 + 0,87 = 1,82 м

$H_f = 1,82$ м; $H_n = H_2 = 0,87$; $\frac{H_2}{H_f} = \frac{0,87}{1,82} = 0,49$; $m_{z2} = 0,6$.

Определяем расчетное значение деформации пучения по формуле 7.27

$$S_f = H_1 \cdot m_{z1} \cdot k_f + \sum_{i=2}^{n} H_i m_{z1}\left(k_1 - k_{f-1}\right),$$

Коэффициент морозного пучения принимается по таблице 3 Приложения 7

СНиП 2.05.08-85 для суглинков пылеватых II типа ГГУ

$k_f = 0.06$, $k_{f-1} = 0$ $S_f = 0,87 \cdot 0,06 \cdot 0,6 = 0,03$ м.

Таким образом, по результатам выполненного расчета дорожная конструкция является пучиностойкой, т.к. определенная деформация пучения не превышает допустимой 0,04-0,06м, согласно п.1.1. «Типовых решений по восстановлению несущей способности земляного полотна и обеспечения прочности и морозоустойчивости дорожной одежды на пучинистых участках автомобильных дорог» [27] для дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием. Также согласно «Типовых решений…» при применении геосинтетической прослойки (М 300 и более) под верхней частью из непучинистых материалов допускает применение усреднённого коэффициента снижения пучения – 0,8 к величине полученной расчётной величины пучения.

Б.6 Пример прогнозирования динамичности теплового состояния и геокриологической устойчивости дорожных сооружений на перспективу

Зададим следующие значения величин: $T_1 = -1\,^{o}\text{C}$; $T_2 = -10\,^{o}\text{C}$; $T_3 = -5\,^{o}\text{C}$; $h = 1\,\text{м}$; $a = 2{,}8 \cdot 10^{-3}\,\text{м}^2/\text{час}$; $t_1 = 0\,\text{час}$; $t_2 = 8760\,\text{час}$; $t_3 = 17520\,\text{час}$; $t_4 = 26280\,\text{час}$; $t_5 = 35040\,\text{час}$; $t_6 = 43800\,\text{час}$ (время в текущий момент, через год, два, три, четыре, пять лет).

Реализуя формулу (7.30), получим прогноз изменения температурного поля рассматриваемого слоя грунта на пять лет в фиксированное зимнее время года (ниже в таблице Б.3: по вертикали – распределение по глубине от 0 до 1 м с шагом 0,1 м; по горизонтали – во времени от 0 до 5 лет). Результаты расчетов приведены в таблице Б.3 и на рисунках Б.2-Б.4.

Таблица Б.3 - Прогнозируемые значения температурного поля

$$T(x,t) := \begin{pmatrix} -1.58 & -7.45 & -8.256 & -8.619 & -8.834 & -8.979 \\ -1.888 & -5.39 & -6.716 & -7.364 & -7.761 & -8.031 \\ -2.256 & -4.056 & -5.495 & -6.3 & -6.819 & -7.182 \\ -2.639 & -3.428 & -4.656 & -5.481 & -6.052 & -6.464 \\ -3.029 & -3.317 & -4.191 & -4.926 & -5.481 & -5.899 \\ -3.421 & -3.504 & -4.039 & -4.621 & -5.107 & -5.489 \\ -3.815 & -3.829 & -4.116 & -4.529 & -4.91 & -5.223 \\ -4.209 & -4.207 & -4.342 & -4.597 & -4.857 & -5.077 \\ -4.605 & -4.601 & -4.653 & -4.772 & -4.903 & -5.016 \end{pmatrix}$$

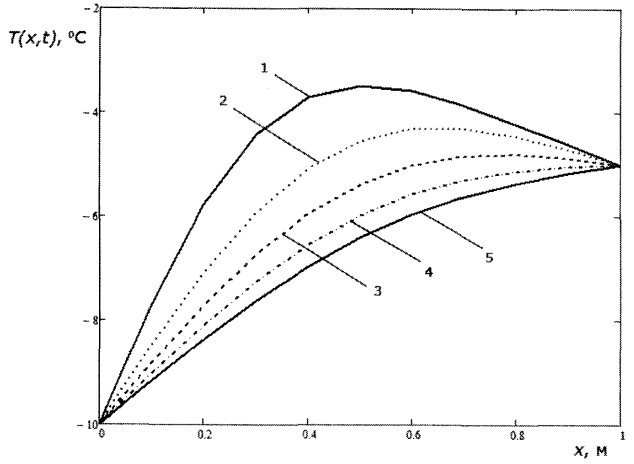


Рисунок Б.2 - Зависимость температурного поля от глубины слоя грунта (линии 1 – 5, соответственно, через год, два, три, четыре, пять лет).

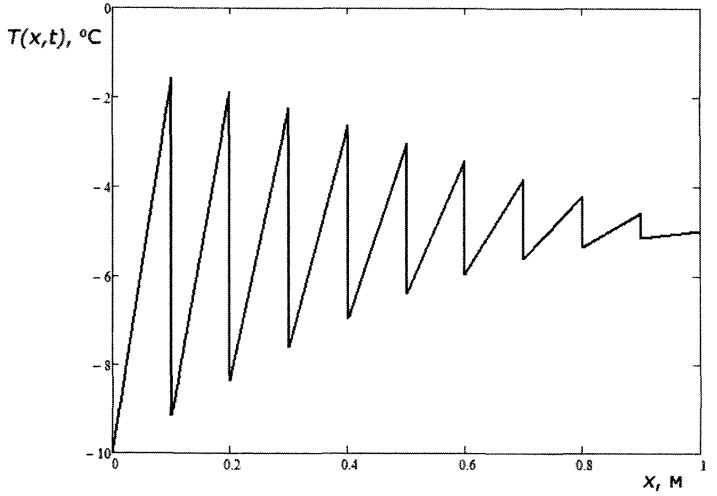


Рисунок Б.3 - Характер изменения температурного поля слоя грунта в течение пяти лет

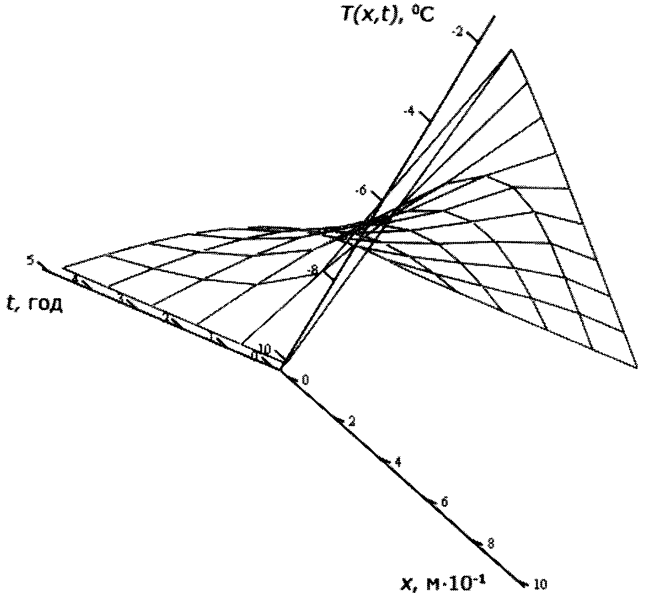


Рисунок Б.4 - Изменения температурного поля слоя грунта в течение пяти лет

Б.7 Прогнозирования глубины оттаивания и осадки основания дорожных насыпей в наиболее опасной (неустойчивой при глобальном потеплении)I_3 южной мерзлотной подзоне высокотемпературной прерывистой и островной мерзлоты.

Например, необходимо подсчитать (спрогнозировать) потребные объёмы ремонтных досыпок на проседающих (аварийных) мерзлотных участках земляного полотна а/д «Амур» (Чита – Хабаровск). Данные участки запроектированы и построены (как и долговременно, десятки лет проседающие в I_3 южной мерзлотной подзоне насыпи БАМа и др.), по наиболее применяемому (основному по п.7.50. СП 34.13330.2012) II-му принципу проектирования. Земляное полотно (как и на БАМе) преимущественно отсыпано в нижней части из дренирующих (крупнообломочных, песчано-гравийных и др.) грунтов (с последующим, отепляющим мерзлоту, затеканием тёплой воды в осевшую, в основание, дренирующую нижнюю часть). Необходимо определить прогнозную толщину оттаивания льдонасыщенного основания и соответствующие им величины осадок (для расчета объёмов ремонтных досыпок) на 5-й, 10-й, 15-й год и т.д. их эксплуатации. По эмпирической (опытной) формуле 8.3 получим следующие прогнозные величины толщин оттаивания мерзлого основания (в талом грунтовом слое без учёта осадки):

на 5-й год $H_{от} = 1{,}13 * (5 - 3)^{1/2} = 1{,}60$ м;
на 10-й год $H_{от} = 1{,}13 * (10 - 3)^{1/2} = 2{,}99$ м;
на 15-й год $H_{от} = 1{,}13 * (15 - 3)^{1/2} = 3{,}91$ м.

Им будут соответствовать следующие величины осадок по формуле 8.4

на 5-й год $S = 0{,}37 * (5 - 3)^{1/2} + 0{,}32 = 0{,}84$ м;
на 10-й год $S = 0{,}37 * (10 - 3)^{1/2} + 0{,}32 = 1{,}30$ м;
на 15-й год $S = 0{,}37 * (15 - 3)^{1/2} + 0{,}32 = 1{,}60$ м.

Общая глубина протаивания мёрзлого основания под дорожной насыпью, будет складываться из образовавшейся толщины оттаявшего и уплотнившегося (осевшего) грунта основания и величины его осадки. Например, на 5-й год она составит (1,60 м + 0,84 м) = 2,64 м на 10-й соответственно (2,99 м + 1,30 м) = 4,29 м и т.д.

Приложение В

Типизация деформирующихся участков дорожных насыпей на высокотемпературных термопросадочных грунтах

Типизация деформирующихся (аварийных) участков преимущественно для высокотемпературных (со среднегодовой температурой выше минус 1,5°С) термопросадочных (с относительной осадкой при оттаивании более 0,10) многолетнемёрзлых грунтов основания, может быть представлена по следующим видам и типам:

а) Совокупно по наиболее влияющим факторам, виду (динамике и характеру) протекания общих (основания, дорожной насыпи и дорожного покрытия) деформаций, совместно со способами (технологиями) строительства дорожных конструкций на мерзлотных участках:

Первый вид.(круглогодичная отсыпка нижней части дорожной насыпи из не дренирующих, обычно мёрзлых и/или переувлажнённых местных суглинков)

Характеризуется первоначальной (1-2 тёплых периода года, после отсыпки насыпи), значительной (30-40см и более в первый год и до 8-12см во второй), быстро затухающей, до относительно незначительных величин (3-5 см/год), эксплуатационной осадкой сезонноотаивающего слоя грунтового основания под насыпью. Последующие, сравнительно незначительные (2-3 см) и равномерные, сезонные осадки оттаивания таких насыпей как правило, соответствуют величине их зимнего поднятия (пучения). При этом происходит ежегодное сравнительно равномерное морозное поднятие (пучение), под нагрузкой от верхней, непучинистой части дорожной насыпи и дорожной одежды, сезоннопромерзающих грунтов нижней части насыпи и основания. Эксплуатационные, практически равномерные, морозное поднятие и осадка оттаивания, в таких дорожных насыпях, в среднем, составляют около 2-4 см в год. Это практически не влияет на изменение ровности покрытия и не повреждает ни капитальные, ни облегчённые дорожные одежды(см. СП 34.13330.2012, п.7.31. Прим.1 и 2, и п.7.53. табл.7.6).

Данный вид, после строительных и эксплуатационных осадок, наиболее характерен для не высоких (до 3м) дорожных насыпей, запроектированных по 2-му принципу проектирования и отсыпанных (возведённых) в нижней части из водонепроницаемых, глинистых (в основном суглинков) грунтов. Отсыпка осуществляется круглогодично, как в холодный, так и в тёплый период года (в том числе, и на частично оттаявшее грунтовое основание) при высотах насыпей преимущественно до 1,5-2,0м. При этом весь талый слой насыпи и основания за холодный период должен полностью промерзать. В результате не сливающаяся мерзлота (или «талик») с последующей затяжной деградацией подстилающей мерзлоты в основании таких насыпей, после строительства не образовывается, а тёплые

воды жидких летних осадков (дополнительно отепляющие грунт основания на 1,5 – 3,0°С) затечь в просевшее, но водонепроницаемое основание не могут. При этом, допускать летнего скопления воды у насыпи не желательно, так как последнее грозит, как местной потерей устойчивости откосов, так в последующем и всей насыпи. Возникает опасность солифлюкционного оползания откоса насыпи, при её расположении на склонах, и стеканию вдоль откоса насыпи тёплой дождевой воды (при отсутствии водоотводной канавы).

Для предотвращения вышеприведённого вида одним из наиболее оптимальных (по конструктивной простоте, технической эффективности, технологичности, а также экономичности и экологии) мероприятий является устройство пологих (с заложением 1:4 – 1:6 и более) глинистых или торфо-глинистых водонепроницаемых откосов. Также эффективно устройство водоотжимных и одновременно охлаждающих берм, из глинистых (суглинков) грунтов и торфо-глинистых грунтовых смесей толщиной 1,5-2м и шириной 3-4м с аналогичными пологими откосами. Можно также, при наличии возможности отвода воды, устраивать приоткосные водоотводные канавы с водонепроницаемыми и не размывающимися бортами и дном (путем укрепления их укладкой соответствующих геосинтетиков, типа «Карбофоль» или светостойкого тканого геотекстиля ТН 33 «ГЕОСПАН» и др.), но это более трудоёмко и может быть менее эффективным (надёжнее это делать совместно).

Второй вид.

Второй вид целесообразно разделить на два подвида(«а» и «б»).

Подвид 2 «а» (летняя отсыпка дренирующей нижней части дорожной насыпи на льдонасыщенных, просадочных грунтах)

Характеризуется первоначальной (1 – 2 года) значительной (до 20-30см/год и более) после строительной осадкой с последующей, многолетней (6-10 лет и более) слабозатухающей эксплуатационной осадкой (со средней величиной 8-12 см/год).

Данный подвид после строительных и эксплуатационных осадок характерен для дорожных насыпей, запроектированных по 2-му принципу и отсыпанных в нижней части из водопроницаемых (скальных, крупнообломочных, песчано-гравийных, песчаных и др.) грунтов с последующим затеканием (попаданием) тёплых летних жидких осадков через них к мёрзлому грунтовому основанию. При этом отсыпка или основная досыпка таких насыпей осуществлялась преимущественно в тёплый период года, а также при частичной (преимущественно на толщину до 0,5-1,0м) замене просадочных льдонасыщенных грунтов основания, на прочный, непросадочный (но водопроницаемый) скальный, крупнообломочный, песчаный и др. дренирующий грунт, часто в тёплый период. В основании их, после строительства, зачастую сразу происходит образование не сливающейся вечной мерзлоты (особенно в I_3 подзоне по ВСН 84-89) с

постепенным, постоянным, деградационным нарастанием величины (толщины) не промерзающего полностью зимой «талика» в основании и его просадочным уплотнением. Дополнительно происходит и реологическое течение и сжатие высокотемпературных (с отрицательными температурами близкими к 0°С), просадочных при оттаивании (с относительной осадкой более 0,1) подстилающих многолетнемёрзлых пород.

Подвид 2 «б» (зимняя отсыпка дренирующей нижней части дорожной насыпи на просадочных, льдонасыщенных грунтах)

Характеризуется отсутствием первоначальной значительной после строительной осадки, с последующим развитием, многолетней (8-16 лет и более) слабозатухающей эксплуатационной осадки (со средней величиной 6-12 см/год), особенно характерной для высокотемпературных (со среднегодовой температурой выше минус 1,5-2,0°С) льдонасыщенных (с суммарной влажностью более 30%) мёрзлых грунтов основания.

Данный вид эксплуатационных осадок характерен для дорожных насыпей, запроектированных по 2-му принципу и отсыпанных в нижней части из водопроницаемых (скальных, крупнообломочных, песчано-гравийных, песчаных и др.) грунтов. При этом их отсыпка, преимущественно, осуществлялась полностью или частично (нижняя часть) в холодный зимний период с последующей летней досыпкой верхней части. А так же при частичной (преимущественно на толщину до 0,5-1,0м) замене просадочных льдонасыщенных грунтов основания, на прочный, непросадочный (но водопроницаемый) скальный, крупнообломочный и др. грунт в зимний период. В основании их, после строительства, постепенно (за счёт ежегодного затекания тёплых летних вод в осадочную чашу в основании из водопроницаемых грунтов) происходит образование не сливающейся вечной мерзлоты с постепенным, деградационным нарастанием величины (толщины) полностью не промерзающего зимой «талика» в основании (особенно на высокотемпературной мерзлоте) и его просадочным сжатием. Дополнительно также происходит и реологическое сжатие высокотемпературных (с отрицательными температурами близкими к 0°С), просадочных при оттаивании (с относительной осадкой более 0,1) подстилающих многолетнемёрзлых пород.

При прохождении по склонам, деформирующиеся участки второго вида, могут дополнительно иметь продольные трещины со значительным (до 3-8см и более) и постепенным, нарастающим, летним раскрытием к концу очередного тёплого сезона. Последнее объясняется возникновением солифлюкционных склоновых процессов, характеризующихся постепенным (со скоростью 6-12 см за лето) сползанием сезонно оттаивающих грунтовых масс с участками дорожных насыпей или их частей вниз, по пологому мёрзлому склону. Данный процесс продолжается до тех пор, пока насыпь и её частично сезонноотаивающее основание, не приобретают очередного равновесного состояния.

Третий вид.

Характеризуется наличием значительных (более 15-20 см/год и более) после строительных и эксплуатационных осадок, не редко, с неравномерной просадкой отдельных частей насыпи и оползанием её откосных частей, с образованием продольных и поперечных трещин со значительным их раскрытием (6-14см и более за тёплый период).

Данный вид после строительных, эксплуатационных осадок наиболе характерен для высоких (Н ≥ 3,0м) дорожных насыпей, запроектированных по 1-му или 2-му принципу и отсыпанных в нижней части из водопроницаемых (скальных, крупнообломочных, песчано-гравийных, песчаных и др.) грунтов с последующим затеканием тёплых летних жидких осадков через них к мёрзлому грунтовому основанию. При этом отсыпка, или основная досыпка данных насыпей, осуществлялась преимущественно в тёплый период года. Толщина (высота) летней отсыпки, превышала последующую максимальную глубину промерзания грунта данной отсыпки (т.е. для скальных, крупнообломочных, песчано-гравийных и других, подобных, водопроницаемых местных грунтов, более 4,5м). Например, долговременные и значительные просадки участка (около 300 м) высокой (более 10 м) насыпи возле ручья Чичон, насыпи «малого Чичона» и др. на ФАД «Амур» Чита-Хабаровск.

б) По условиям (типам) увлажнения и сопутствующим им причинам возникновения просадочных деформаций, можно выделить следующие характерные типы:

первый тип: - наличие высокотемпературной мерзлоты (со среднегодовой температурой на подошве слоя сезонного оттаивания или глубине нулевых амплитуд /8-12м от поверхности/ выше минус 1,5-2,0°С, или к середине тёплого периода, выше минус 0,5°С на глубине подошвы слоя сезонного оттаивания);

- наличие в основании дорожной насыпи просадочных при оттаивании, слабых грунтов, преимущественно третьей и четвёртой категории просадочности (с относительной осадкой при оттаивании $\delta > 0,1$-$0,4$ и более);

- наличие или после строительное возникновение у дорожной насыпи 2-го типа местности по условиям увлажнения с кратковременным (до 30 суток) застоем тёплых вод от жидких осадков и др. [(ВСН 84-89, табл.2 ; СП 34.13330.2012 прилож.В, табл.В.1 для I ДКЗ)] с наличием водопроницаемых грунтов в нижней части насыпи при втором принципе проектирования (без защиты её от попадания и поверхностного /через откосы/ и основание откосов, затекания тёплых жидких осадков);

второй тип: - все признаки I-го типа, но с наличием 3-го типа местности по условиям увлажнения при строительстве или после

строительства. Дополнительно, наличие кроме второго, также и первого принципа проектирования. проектирования дорожных насыпей (с отсыпкой их нижней части из водопроницаемых грунтов, без защиты от фильтрации и поверхностного /через откосы/ затекания тёплых поверхностных вод).

Примерная сводная ведомость (по участкам) визуальной оценки с анализом инструментальных инженерных, геодезических и буровых обследований совместно с данными технической документации, с типизацией аварийных участков по характерным видам деформаций и причинам их вызвавшим, и назначением оптимальных (по эффективности, технологичности и экономичности) стабилизационных мероприятий приведена в таблице В.1.

Таблица В.1

1	Участок №…	КМ… + 000 – КМ…+ 000
2	Конструкция дорожной одежды	0,2м – а/б 0,2м – ПГС 0,3м – ПГС старой /переходной/ дорожной одежды
3	Грунт земляного полотна. Высота з/п (или высотная отметка) по проекту / и на дату обследования – 20 августа 2012г	Крупнообломочный 2,8/2,6м
4	Грунт основания, его влажность и общая глубина оттаивания (до строительства насыпи / и после её возведения, на дату обследования с учётом осадки)	5см - МРП с W = 136% 26см - суглинок с W = 24% 140см - супесь с W = 19% , далее мёрзлая льдонасыщенная супесь 171см/412см
5	Характер деформаций оттаивающего основания, тела дорожной насыпи и дорожного покрытия	Неравномерная просадка оттаивающего грунтового основания, сопровождающаяся сравнительно плавными проседаниями на 8-10 см/год и частичным растрескиванием а/б покрытия
6	Виды дефектов дорожной одежды (покрытия)	Летняя просадка дорожной одежды на глубину 6-8 см с образованием на покрытии вогнутых поверхностей длиной 8-12 метров. Образование продольных и преимущественно поперечных трещин в а/б покрытии, через 6-8м с шириной раскрытия до 0,5-1,5см.
7	Классификационный вид деформирующегося участка	2 «б»
8	Классификационный тип деформирующегося участка	I-й тип
9	Величина прогнозной осадки в текущем году	7,5см
10	Величина прогнозной осадки через три года	20,5см

11	Рекомендуемые, стабилизационные мероприятия	1.Устройство в конце холодного периода в нижних частях откосов водоотжимных, теплоизолирующих, теплодиодных треугольных призм (присыпок) из местных мёрзлых глинистых и торфо - глинистых грунтов (можно без уплотнения), на высоту их сезонного оттаивания (до 2 м), шириной до 4-х метров. 2. По возможности, устройство укреплённых геосинтетиками (типа «Карбофоль» или «Геоспан» ТН 33 и т.д.) приоткосных водоотводных канав.

Данные карточки (образующие общую сводную ведомость) составляются по всем деформирующимся (аварийным) участкам дорожных насыпей.

Библиография

[1] Методические рекомендации по проектированию земляного полотна на вечной мерзлоте с использованием местных грунтов. ОДМ 218.2.000-2012, Росавтодор, М.,2012 (на утверждении).

[2] Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты. ВСН 84-89,Союздорнии Минтрансстроя, М.,1990, 271 с.

[3] Никонов А.П. История отмороженных в контексте глобального потепления. – М.: НЦ ЭНАС, 2007, 296с.

[4] Израэль А., Павлов А., и др. Статистические оценки изменения элементов климата в районах вечной мерзлоты на Территории Российской Федерации.- Метеорология и гидрология, № 5, 2006, с.27-38.

[5] Изыскания и проектирование автомобильных дорог на многолетнемёрзлых грунтах. В.А. Давыдов, Э.Д. Бондарева. Омск, изд-во ОГПИ, 1989, 183 с.

[6] Перетрухин Н.А. Вопросы проектирования и возведения железнодорожного земляного полотна в районах вечной мерзлоты. В кн.: Вопросы транспортного строительства в районах вечной мерзлоты. М. ЦНИИС, 1958. с. 5-23.

[7] Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. М.: Высшая школа, 1973, 446 с.

[8] Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение. М., Изд-во МГУ, 1965.

[9] Фельдман, Г. М. Методы расчета температурного режима мерзлых грунтов / Г. М. Фельдман. – М.: «Наука», 1973. – 254 с.

[10] Мельников П. И., Толстихин Н.И. Общее мерзлотоведение. Новосибирск: «Наука», 1974.

[11] Гречищев, С.Е. Прогноз оттаивания и распределения вечной мерзлоты и изменения криогенного растрескивания грунтов на территории России при потеплении климата.- Криосфера Земли, № 1, 1997. – С. 59-65.

[12] Редкозубов, Д. В. Геотермический метод исследования толщ мерзлых пород. М.: «Наука», 1966, 327 с.

[13] Исследование конструкций и методов строительства земляного полотна автомобильных дорог в районах островной вечной мерзлоты с составлением предложений по внедрению конструкций земляного полотна на вечной мерзлоте в условиях БАМ. НТО по теме ЗР-Х-1-76, раздел 9, заключительный, № гос. регистрации 75022246, СОЮЗДОРНИИ (Омский филиал), Савко Н.Ф., Омск, 1976, с.76.

[14] Кондратьев В.Г. Опыт организации инженерно-геологического обследования и мониторинга земляного полотна Байкало-Амурской

железной дороги.//ж.-д. транспорт. Сер. «Путь и путевое хозяйство»: ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС. – 1992: - Вып. 5-6. – с.28-44.

[15] Обследование способов инженерной подготовки грунтов и разработка рациональных конструктивных и технологических решений по сооружению земляного полотна и промышленных площадок по программе «ЯМАЛ». НТО по теме Д-3Р-92-32, заключительный, № Гос. регистрации 01900037689, СОЮЗДОРНИИ (Омский филиал), Омск, 1990, 222 с.

[16] Рекомендации по прогнозу температурного режима (на примере центрального и восточного участков БАМа). Институт мерзлотоведения СО АН СССР, Якутск: Институт мерзлотоведения СО АН СССР, 1986.

[17] Методические рекомендации по применению конструктивных мероприятий для сохранения вечномёрзлых грунтов в основаниях земляного полотна и искусственных сооружений на автомобильных дорогах Центральной Якутии. М., ОАО ЦНИИС, 2010.

[18] Рекомендации по методике регулирования сезонного промерзания и протаивания грунтов и развития термокарста при освоении Западной Сибири. ПНИИС Госстроя, М.1988г.

[19]Рекомендации по оценке допустимых изменений мерзлотно-грунтовых условий на осваиваемых территориях Западной Сибири. ПНИИС Госстроя, М., 1987.

[20] Рекомендации по методике изучения процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов. ПНИИС Госстроя, М., 1986.

[21] Рекомендации по геокриологической съёмке и районированию равнинных территорий для размещения объектов нефтяной и газовой промышленности по стадиям проектирования. ПНИИС Госстроя СССР, М., Стройиздат, 1984.

[22] Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты. ВСН 61-89, ЦНИИС Минтрансстроя, М.,1990г.

[23] Жданова С.М. Принципы обеспечения стабилизации земляного полотна в южной зоне вечной мерзлоты/дисс. на соиск. докт. техн. наук. Хабаровск, 2007, 453 с.

[24] ОДМ 218.5.003-2010 . Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог. РОСАВТОДОР. М., 2010

[25] Руководство по устройству аэродромных оснований и дорожной одежды с армирующими прослойками из геосинтетических материалов. ВРДС 32-12-08, 26 ЦНИИ и Военный инженерно-технический университет МО РФ, М., 2008, 132 с.

[26]СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги, Дата введения 01.07.2013

[27]Типовые решения по восстановлению несущей способности земляного полотна и обеспечению прочности и морозоустойчивости

дорожной одежды на пучинистых участках автомобильных дорог. – М., 2001, 101 с.

[28] Шур Ю.Л. Верхний горизонт толщи мёрзлых пород и термокарст/ - Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1988. – 213 с.

[29] Геотехнические вопросы освоения Севера/ Под ред. проф. Мичиганского университета Андерсленда О.Б. и Андерсона Д.М. : Пер. с англ. под ред. д-р геол.-минер. наук Гречищева С.Е. – М.: Недра, 1983, 551с.

[30] Устойчивость поверхности к техногенным воздействиям в области вечной мерзлоты/ Под ред. д-р геогр. наук Граве Н.А., Турбина М.И. – Якутск, ИМ СО АН СССР, 1980, 146 с.

[31] Павлов А.В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. (АН СССР.Сиб. отделение института мерзлотоведения). Якутск, Кн. изд-во, 1975, 304 с.

[32] Лукьянов В.С. , Головко М.Д. Расчёт глубины промерзания грунтов. М., Трансжелдориздат, 1957, 164 с.

[33] Пособие по проектированию железных и автомобильных дорог промышленных предприятий в районах вечной мерзлоты /к СНиП 2.05.07-85*/. М., Союзпромтрансниипроект, 1992.

[34] Альбом типовых решений по применению геосинтетических материалов ООО «Гекса – нетканые материалы». Союздорнии, Балашиха,2009, с.35-38.

ОДМ «Методические рекомендации по геокриологическому прогнозированию устойчивости дорожных сооружений при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог»

ОКС 93.080.01

Ключевые слова:

ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА, ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ, ТЕПЛОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА , УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ , НЕКОНДИЦИОННЫЕ ГРУНТЫ

Руководитель организации-разработчика

ООО «СибИНДОР»

Директор _____ Е.А. Бедрин

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО

(РОСАВТОДОР)

РАСПОРЯЖЕНИЕ

21.08.2019 Москва № 2215-р

О применении и публикации ОДМ 218.2.086–2019 «Методические рекомендации по геокриологическому прогнозированию устойчивости дорожных сооружений при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог»

В целях реализации в дорожном хозяйстве основных положений Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и обеспечения дорожных организаций рекомендациями по применению документов технического регулирования и стандартизации в сфере дорожного хозяйства:

1. Структурным подразделениям центрального аппарата Росавтодора, федеральным управлениям автомобильных дорог, управлениям автомобильных магистралей, межрегиональной дирекции по строительству автомобильных дорог федерального значения, территориальным органам управления дорожным хозяйством субъектов Российской Федерации рекомендовать к применению с даты подписания настоящего распоряжения ОДМ 218.2.086–2019 «Методические рекомендации по геокриологическому прогнозированию устойчивости дорожных сооружений при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог» (далее – ОДМ 218.2.086–2019).

2. Управлению научно-технических исследований и информационного обеспечения (А.Н. Каменских) в установленном порядке обеспечить официальную публикацию ОДМ 218.2.086–2019.

3. Контроль за исполнением настоящего распоряжения возложить на заместителя руководителя Е.А. Носова.

Руководитель А.А. Костюк

gost.e-ecolog.ru

Зенкин А.А.
Тел. (495) 870-99-23, доб. 50-233