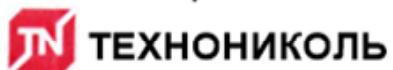




Общество с ограниченной ответственностью
«ЛАБОРАТОРИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ
ТЕПЛОФИЗИКИ»
ООО «ЦЛИТ»
Лаборатория основана в 1934 году

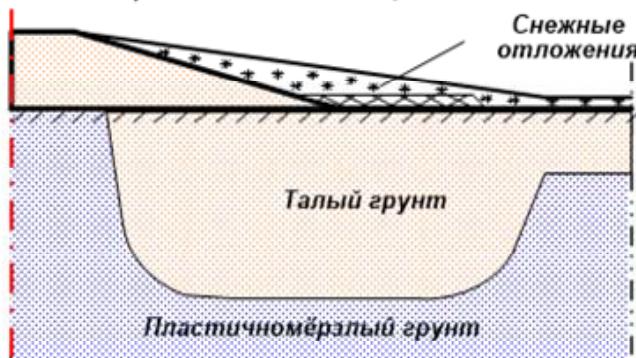


Общество с ограниченной ответственностью
«ТехноНИКОЛЬ – Строительные системы»

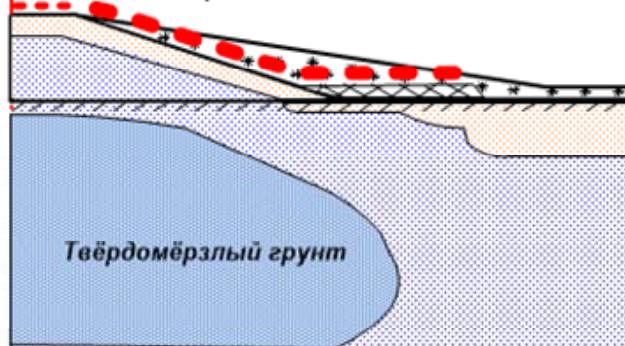


Мерзлотное состояние насыпи в конце тёплого периода:

а) без теплоизоляции



б) с теплоизоляцией



РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ И ТЕЛА ДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Москва 2024

ББК 26.367.143
УДК 624.139 /2/7
ОКС 93.020/080

Рекомендации по применению теплоизоляции для стабилизации температурного режима грунтов основания и тела дорожных насыпей в зоне вечной мерзлоты. Рекомендации содержат две части. В первой части сформулированы теоретические основы применения теплоизоляции в сочетании с другими мероприятиями и с учётом конструкции насыпи. Во второй части приведены конкретные варианты конструкции насыпей и мероприятий по охлаждению для различных регионов РФ

Разработка ООО «Лаборатория инженерной теплофизики» (ООО «ЦЛИТ») по заказу компании ТЕХНОНИКОЛЬ.

ISBN 978-5-6045553-6-1

Подписано в печать: 15.06.2024. Формат 60x90/16
Усл. печ. л. 4,5. Тираж 100 экз. Заказ № 90
Отпечатано ООО «Мастерская Печати Идей»
129226, Сельскохозяйственная ул., дом № 12а

© Перепечатка без разрешения не допускается

© ООО «Мастерская Печати Идей» 2024

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	7
ЧАСТЬ I	
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ	9
1. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ И ТЕЛА СООРУЖЕНИЯ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ, ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ	10
1.1. Ошибки, допускаемые при проектировании мероприятий по стабилизации температурного режима грунтов, и их причины	10
1.2. Формулировка процесса формирования температурного режима с позиции математической физики	11
1.3. Классификация мероприятий	12
1.4. Принцип оценки эффективности мероприятия по охлаждению грунтов	14
2. МЕТОДИКА РАСЧЁТОВ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ И ТЕЛА НАСЫПИ	15
3. МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ	18
3.1. Общие положения	18
3.2. Конфигурация и размеры тела	18
3.3. Граничные условия	22
3.3.1. Виды и структура граничных условий на различных границах расчётной области	22
3.3.2. Температура среды	22
3.3.3. Условия теплообмена на поверхности	24
3.4. Теплофизические характеристики материалов	26
3.5. Начальные температурные условия	27
3.6. Закон теплопередачи	29

4. МЕСТО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В ОБЩЕМ КОМПЛЕКСЕ МЕРОПРИЯТИЙ	30
4.1. Многогранность теплового влияния теплоизоляции	30
4.2. Амортизационная функция теплоизоляции	30
4.3. Охлаждающая функция теплоизоляции	32
4.4. Обобщённая схема обозначения места и мощности теплоизоляции	36
5. СОЧЕТАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОХЛАЖДЕНИЮ ГРУНТОВ	39
5.1. Целесообразность сочетания различных мероприятий по охлаждению грунтов	39
5.2. Пример оценки теплового влияния отдельных мероприятий и их сочетания	41
6. ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В РЕГИОНЕ III	48
6.1. Общие положения	48
6.1.1. Пояснения к главам 6-10	48
6.1.2. Пояснения к главе 6	49
6.2. Насыпь высотой 4,0 м	52
6.3. Насыпь высотой 2,0 м	58
6.4. Насыпь высотой 6,0 м	64
7. ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В РЕГИОНЕ V	73
7.1. Общие положения	73
7.2. Насыпь высотой 4,0 м	75
7.3. Насыпь высотой 2,0 м	81
7.4. Насыпь высотой 6,0 м	87
8. ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В РЕГИОНЕ I	93
8.1. Общие положения	93
8.2. Насыпь высотой 4,0 м	95
8.3. Насыпь высотой 2,0 м	102
8.4. Насыпь высотой 6,0 м	106
9. ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В РЕГИОНЕ II	111
9.1. Общие положения	111
9.2. Насыпь высотой 4,0 м	113
9.3. Насыпь высотой 2,0 м	117
9.4. Насыпь высотой 6,0 м	120

10. ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В РЕГИОНЕ IV	125
10.1. Общие положения	125
10.2. Насыпь высотой 4,0 м	127
10.3. Насыпь высотой 2,0 м	131
10.4. Насыпь высотой 6,0 м	137
11. ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА НАСЫПЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НА МЕРЗЛОТЕ СЛИВАЮЩЕГОСЯ И НЕСЛИВАЮЩЕГОСЯ ТИПОВ	141
11.1. Строительство на мерзлоте сливающегося типа и проблемы, возникающие при строительстве на мерзлоте несливающегося типа	141
11.2. Способ поверхностного охлаждения	144
11.3. Способ глубинного замораживания талого слоя	146
11.4. Способ глубинного поддержания температуры нижележащей мерзлоты	147
11.5. Сопоставление двух способов глубинного охлаждения	149
11.6. Сочетание поверхностного и глубинного охлаждений	152
12. ЭФФЕКТИВНЫЕ И НЕЭФФЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ УКЛАДКИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ	155
13. ЭФФЕКТИВНЫЕ И НЕЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ	159
13.1. Постановка вопроса	159
13.2. Территория, прилегающая к подошве откоса насыпи	160
13.3. Основная площадка насыпи	163
13.4. Откосы насыпи	164
14. УЧЁТ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА	170
15. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	176
16. ЛИТЕРАТУРА	177
17. ПРИЛОЖЕНИЯ	180
Приложение А. Термины и определения	181
Приложение Б. Деление зоны вечной мерзлоты на регионы с различным характером теплового влияния на сооружение (к разделу 3.3)	183
Приложение В. Методика определения термического сопротивления снежного покрова (к разделам 3, 6.1-10.1) ...	192
Приложение Г. Методика определения коэффициентов	

теплопередачи для различных зон граничных условий в пределах расчетной области (к разделам 3, 6.1-10.1)	194
Приложение Д. Оценка степени охлаждающего влияния теплоизоляции и снежного покрова (к разделам 6.1-10.1) ...	201
Приложение Е. Примеры мероприятий по охлаждению грунтов (к разделам 6.1-10.1)	208
Приложение Ж. Примеры эффективной и неэффективной схем укладки теплоизоляции (к главе 12)	224

ЧАСТЬ II

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУКЦИИ
НАСЫПИ И МЕРОПРИЯТИЯМ ДЛЯ
СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО
РЕЖИМА ГРУНТОВ**

228

18. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ, ЗАЛОЖЕННЫЕ В РЕКОМЕНДАЦИЯХ	229
19. ПОЯСНЕНИЯ ПО СТРУКТУРЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ	234
20. ВАРИАНТЫ РЕКОМЕНДУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАСЫПИ И МЕРОПРИЯТИЙ ПО СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ	236

ВВЕДЕНИЕ

Рекомендации посвящены характеристике теплоизоляции как мероприятия для стабилизации температурного режима грунтов основания и тела насыпи и методике применения теплоизоляции в практике. Рекомендации распространяются на насыпи железных и автомобильных дорог, возводимых в районе распространения вечной мерзлоты на всей территории России.

Актуальность данной работы определяется тем, что хотя более 70% территории России расположены в зоне вечной мерзлоты, где, в частности, сосредоточена большая часть месторождений полезных ископаемых, строительство железных и автомобильных дорог связано с большими трудностями. Строительство на вечной мерзлоте приводит к нарушению сложившегося в естественных условиях теплового баланса и, как следствие, к деградации мерзлоты и к деформациям насыпи. Для предотвращения отрицательного влияния строительства и для обеспечения безопасности самого строительства применяется целый комплекс конструктивно-технологических мероприятий, которые требуют своего развития. Одной из главных составляющих указанных конструктивно-технологических мероприятий является теплоизоляция. Однако в настоящее время теория применения теплоизоляции при сооружении дорог на вечной мерзлоте не разработана.

Целью данной работы являются:

- 1) выявить закономерности влияния теплоизоляции на температурный режим грунтов основания и тела насыпи;
- 2) разработать методику эффективного применения теплоизоляции для стабилизации температурного режима дорожных насыпей.

При выполнении работы прежде всего опирались на известные теоретические работы [3, 28], использован 90-летний опыт Лаборатории инженерной теплофизики (ООО «ЦЛИТ») исследования мерзлотных процессов, разработки методов математического моделирования этих процессов, разработки новых конструкций и технологий для применения на вечной мерзлоте, участия в проектировании, строительстве и мониторинга крупнейших объектов, таких как БАМ, железные и

автомобильные дороги на Севере Западной Сибири и др., участия в разработке нормативно-рекомендательных документов [21, 22, 23, 24, 25 и др.].

В результате выполнения данной работы:

1) выявлено

- многочисленность теплофизических функций, выполняемых теплоизоляцией (амортизация тепловых процессов, охлаждение, замедление, ускорение теплового процесса и др.);

- рациональные принципиальные схемы поперечных сечений насыпи для различных регионов;

- особенности применения теплоизоляции при строительстве на мерзлоте несливающегося типа;

- особенности применения теплоизоляции при глобальном потеплении;

2) разработана методика учёта теплоизоляции при проектировании системы стабилизации температурного режима грунтов оснований и тела насыпи.

Работа выполнена по заказу компании ТЕХНОНИКОЛЬ коллективом в составе докт. техн. наук Пассека Вад. В.(руководителя), кандидатов техн. наук Поза Г.М., Пассека Вяч. В., Пшеничниковой Е.С., Селезнёва А.В., инж. Воробьёва С.С.

ЧАСТЬ I

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ
ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ
В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ**

1. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ И ТЕЛА СООРУЖЕНИЯ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ, ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ

1.1. Ошибки, допускаемые при проектировании мероприятий по стабилизации температурного режима грунтов, и их причины

Необходимость этой главы в составе настоящих Рекомендаций определяется следующим.

В технической литературе (авторы данных Рекомендаций проанализировали большое число монографий, статей, патентов, нормативно-рекомендательных документов и т.п.) имеется много предложений по конструкциям и способам возведения дорожных насыпей на вечной мерзлоте. Однако эти предложения содержат целый ряд некорректностей и ошибок. Причинами этого является отсутствие комплексного подхода:

- 1) к постановке теплофизической задачи в целом;
- 2) к характеристике зоны вечной мерзлоты без учёта многогранности её параметров и их различия для различных её регионов.

Можно выделить три группы некорректностей и ошибок:

- 1) в предлагаемых технических решениях практически никогда не учитывается регион зоны вечной мерзлоты, для которой это техническое решение рекомендуется. Между тем условия для формирования температурного режима в различных регионах разные, иногда прямо противоположные (т. е. что для одних хорошо, то для других плохо);
- 2) при рассмотрении тепловой эффективности технического решения неправильно назначена расчётная область теплового влияния, в результате чего рекомендуемая эффективность этого технического решения совершенно не соответствует фактическому значению;
- 3) рекомендуемая эффективность многих технических решений не соответствует фактическому значению в результате неправильного учёта теплового

взаимовлияния смежных зон с различными характеристиками в пределах общей области теплового влияния.

Ниже будут рассмотрены те принципы, которые необходимо учитывать при разработке методов управления температурным режимом.

По вышесказанному можно сделать следующее обобщение: большая часть предложений по конструкции насыпей на вечной мерзлоте сделана на основе «здравого смысла», т.е. концентрированного опыта проектирования вне зоны мерзлоты. Не учитываются как особенности этого нового мира, так и основные положения теории теплообмена. Поэтому рекомендации здесь начинаются с этой теории, а далее изложены особенности отдельных регионов зоны вечной мерзлоты. И уже с этих позиций формируются предложения.

1.2. Формулировка процесса формирования температурного режима с позиции математической физики

В соответствии с теорией математической физики [1, 26] рассматриваемый класс теплофизических задач может быть представлен краевой задачей, когда твёрдое тело произвольной формы и размеров омывается жидкой или газообразной средой. При этом температурный режим в пределах этого тела определяется однозначно, если задано *пять групп параметров* (это необходимо и достаточно):

- конфигурация и размеры тела;
- граничные условия (изменение во времени температуры жидкой или газообразной среды и условия теплообмена между этой средой и твёрдым телом, т.е. коэффициент теплопередачи);
- начальная температура в пределах всего тела;
- теплофизические характеристики материала (материалов) в пределах всего тела;
- закон (законы) теплопередачи в пределах всего тела.

Рекомендации по назначению указанных выше пяти групп параметров приведены в главе 3.

Следует учитывать, что после возведения дорожного полотна температурный режим грунтов основания в пределах зоны теплового влияния изменяется полностью по сравнению с естественными условиями и соответствует условиям построенной конструкции. Поэтому при проектировании должен быть заложен ряд мероприятий по охлаждению грунтов, которые формируют расчётный температурный режим, при котором обеспечивается несущая способность и долговечность насыпи.

Таким образом, мероприятие по охлаждению грунтов - это такой подбор значений всех пяти групп параметров, при которых в грунт поступает зимой холода больше, чем летом тепла, т.е. создаётся отрицательный тепловой баланс. Этот баланс должен обеспечиваться ежегодно.

1.3. Классификация мероприятий

Существует много различных мероприятий. Принципы их действия, эффективность, область охлаждения, стоимость и т.п. различны. Каждое мероприятие имеет свою область эффективности, свои достоинства и недостатки. Поэтому целесообразно создавать системы из двух и более мероприятий. Такие системы позволяют объединить положительные свойства и парализовать отрицательные свойства. В результате суммарный эффект получается выше суммы эффектов.

Все без исключения мероприятия основаны на регулировании одного или нескольких параметров, охарактеризованных в п. 1.2. Однако каждое мероприятие многогранно по своей характеристике и включает свойства прикладного характера.

В данном рекомендательном документе для нас важны четыре таких точки зрения (классификации):

- по месту приложения охлаждающего действия;
- по скорости действия;
- по области охлаждения;
- по сезонам действия.

Классификация мероприятий по месту приложения охлаждающего действия:

- поверхностного действия (например, оголённая от снега поверхность, теплоизоляция);
- глубинного действия (например, термопоры, термостабилизаторы);
- бокового действия (области грунта под смежными с насыпью территориями).

Классификация мероприятий по скорости формирования расчётного температурного режима:

- интенсивного типа (например, оголённая от снега поверхность);
- инерционного типа (например, теплоизоляция).

В практике целесообразно создавать системы, сочетающие мероприятия интенсивного и инерционного типа. Суммарный эффект намного превышает сумму эффектов.

Классификация по области охлаждения:

- охлаждение поверхностных слоёв (теплоизоляция);
- охлаждение глубинных слоёв (термоопоры, термостабилизаторы, оголённая от снега поверхность, теплоизоляция).

В практике в большинстве случаев требуется сводить к минимуму глубину сезонного протаивания, в связи с чем теплоизоляция становится необходимым элементом практически любой системы охлаждения.

Классификация по сезонам действия:

- всесезонного действия (оголённая от снега поверхность);
- зимнего действия (термопоры, термостабилизаторы, каменная наброска и другие);
- летнего действия (травяной покров, т.е. теплоизоляция естественная).

Эффективность мероприятий всесезонного действия определяется среднегодовой температурой воздуха. При высоких среднегодовых температурах порядка минус 1-3°C эффективность мероприятий всесезонного действия крайне низкая. Широкий объём строительства именно в регионах с высокой среднегодовой температурой воздуха, особенно глобальное потепление, выдвигают на первое место мероприятия зимнего действия (термоопоры работают при температуре порядка

минус 20°С даже при среднегодовой температуре порядка минус 1-3°С) и летнего действия (летняя температура воздуха достигает порядка плюс 20-30°С, и травяной покров, во-первых, защищает от солнечной радиации, во-вторых, за счёт испарительных процессов росы и дождя обеспечивает отрицательную добавку к температуре воздуха, и, в-третьих, сам материал травы является дополнительным термическим сопротивлением).

Эффективность мероприятия сезонного действия определяется тем, что «итог работы» мероприятия за сезон не нейтрализуется обратным по знаку «итогом работы» этого же мероприятия за второй сезон.

1.4. Принцип оценки эффективности мероприятия по охлаждению грунтов

В данной главе приведено по существу пять видов классификации (с учетом пункта 1.2). Принцип их оценки заключён в самом их названии, кроме классификации по месту приложения охлаждающего воздействия. Этот вид мероприятия оценивается следующим образом.

Мероприятия поверхностного действия, т.е. расположенные на внешней поверхности сооружения оцениваются по температуре грунта на глубине нулевых амплитуд и глубине сезонного протаивания (промерзания).

Мероприятия глубинного действия (термоопоры, термостабилизаторы и т.п.) оцениваются по эпюре распределения температуры по радиусу термоопоры (термостабилизатора).

Мероприятие бокового действия самостоятельной формы не имеют: они либо поверхностного, либо глубинного действия.

2. МЕТОДИКА РАСЧЁТОВ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ И ТЕЛА СООРУЖЕНИЯ

В настоящее время существует целый ряд методов расчёта температурного режима. Это и аналитические методы, и численные методы, и численно-аналитические, основанные на применении метода конечных элементов, разностных и др. методов [5].

В данной работе рекомендуется применение двух подходов: приближённого численно-аналитического метода, основанного на принципе суперпозиции, и точного, основанного на применении метода элементарных балансов.

Методика исследований, на которых основаны данные Рекомендации, базировалась на сочетании двух подходов: математического моделирования тепловых процессов на ЭВМ и натурных обследований.

При промерзании-протаивании грунтов происходит перемещение во времени и в пространстве границы раздела фазовых состояний грунта – мерзлого и талого. Этот процесс может быть описан системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} C_M(x,y,z) \frac{\partial t_M}{\partial \tau} &= \frac{\partial}{\partial x} (\lambda_M(x,y,z) \frac{\partial t_M}{\partial x}) + \dots, & n < n_3(\tau), \\ C_T(x,y,z) \frac{\partial t_T}{\partial \tau} &= \frac{\partial}{\partial x} (\lambda_T(x,y,z) \frac{\partial t_T}{\partial x}) + \dots, & n > n_3(\tau), \\ \left. \begin{aligned} t_M &= t_T = t_3 \\ \lambda_M \frac{\partial t_M}{\partial n} - \lambda_T \frac{\partial t_T}{\partial n} &= Q \frac{dn_3(\tau)}{d\tau} \end{aligned} \right\}, & n = n_3(\tau), \end{aligned} \quad (2.1)$$

где

C_M, C_T – теплоемкости соответственно мерзлого и талого грунта;

λ_M, λ_T – коэффициенты теплопроводности соответственно мерзлого и талого грунта;

t_M, t_T, t_3 – соответственно температура в мерзлой зоне, в талой зоне, температура замерзания;

$n_3(\tau)$ – координата фронта промерзания;

Q - скрытая теплота при фазовых переходах;

τ - время.

Для численного решения задачи (2.1), известной как задача Стефана, применён метод элементарных балансов.

Метод элементарных балансов предполагает разбивку пространства на блоки, а времени – на временные шаги. Непрерывный во времени нестационарный процесс теплопередачи заменяется последовательным решением стационарных процессов на каждом временном шаге, при этом первое и второе дифференциальные уравнения (2.1) заменяются разностными уравнениями, которые имеют вид:

$$(C_{i,j,k} \cdot h_i \cdot g_j \cdot l_k) \frac{t_{i,j,k}^{\tau+\Delta\tau} - t_{i,j,k}^{\tau}}{\Delta\tau} = \frac{t_{i-1,j,k} - t_{i,j,k}}{R_{i-1,i}} + \frac{t_{i+1,j,k} - t_{i,j,k}}{R_{i+1,i}} + \dots,$$

где

$C_{i,j,k}$ - объемная теплоемкость блока (i,j,k) ;

h_i, g_j, l_k - размеры блока (i,j,k) в трех направлениях;

$t_{i,j,k}^{\tau}, t_{i,j,k}^{\tau+\Delta\tau}$ - температура блока (i,j,k) соответственно на начало и конец временного шага $\Delta\tau$;

$R_{i-1,i}, R_{i+1,i}$ - термические сопротивления между блоками соответственно $(i-1,j,k)-(i,j,k)$ и $(i+1,j,k)-(i,j,k)$;

$t_{i-1,j,k}, t_{i,j,k}, t_{i+1,j,k}$ - средние температуры блоков с координатами соответственно $(i-1,j,k)$, (i,j,k) и $(i+1,j,k)$.

Для проведения численных расчётов при теплофизических исследованиях применён разработанный в Центральной лаборатории инженерной теплофизики ОАО ЦНИИС (в настоящее время ООО «ЦЛИТ») комплекс программ, реализующий метод элементарных балансов [31].

Сущность метода суперпозиции изложена в Приложении Д СП 354 [22].

Использование указанных выше методов расчёта сводятся к математическому моделированию процесса или, что тоже самое, к определению температурного режима.

Температурный режим – это изменение во времени температурных полей. Температурное поле – распределение температур в плоскости или пространстве.

Моделирование начинается с начального состояния. Результатом расчёта может быть целый ряд температурных полей, в зависимости от поставленной задачи. В данных рекомендациях оценка процессов производится с использованием следующих температурных полей:

- 1) температурное поле, полученное при инженерно-геологических изысканиях на момент начала строительства;
- 2) начальное температурное поле, сформированное в момент окончания строительства;
- 3) температурное поле в момент ввода сооружения в эксплуатацию;
- 4) расчётное температурное поле, при котором определяется несущая способность сооружения;
- 5) температурное поле в установившемся состоянии.
- 6) температурное поле в предельном состоянии, т.е. на момент окончания эксплуатации сооружения.

3. МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

3.1. Общие положения

Как это уже было отмечено в п. 1.2, результаты расчёта (температурный режим) определяются однозначно, если сформулированы и заданы в расчёт в виде исходных данных пять групп параметров. Поэтому следующие разделы данной главы посвящены методике подготовки исходных данных по каждой из этих групп. Следует отметить, что из всех пяти групп параметров центральными оказываются граничные условия. Именно их анализ зачастую определяет и конфигурацию насыпи, и др. параметры.

3.2. Конфигурация и размеры тела

Под термином математической физики «тело» в данном случае понимается расчётная область, включающая непосредственно дорожную насыпь и прилегающую территорию, которая выделяется из общего пространства и рассматривается как самостоятельный независимый элемент со своим условием на границе.

Ширина расчётной области « d » (рис. 3.1) выделяется из следующих соображений. Максимальная ширина не ограничивается с точки зрения правильности расчётов. Она ограничивается с точки зрения трудоёмкости расчётов: чем больше область, тем больше количество блоков, на которые эта область разбивается, тем больше время расчёта. С точки зрения правильности расчётов ограничивается минимальная допустимая ширина области, которая определяется из следующего условия: после проведения расчёта (моделирования процесса) изотермы по краям области должны быть параллельны естественной поверхности, то есть по краям расчётной области двумерный тепловой процесс в центре расчётной области вырождается в одномерный, перпендикулярный естественной поверхности грунтов.

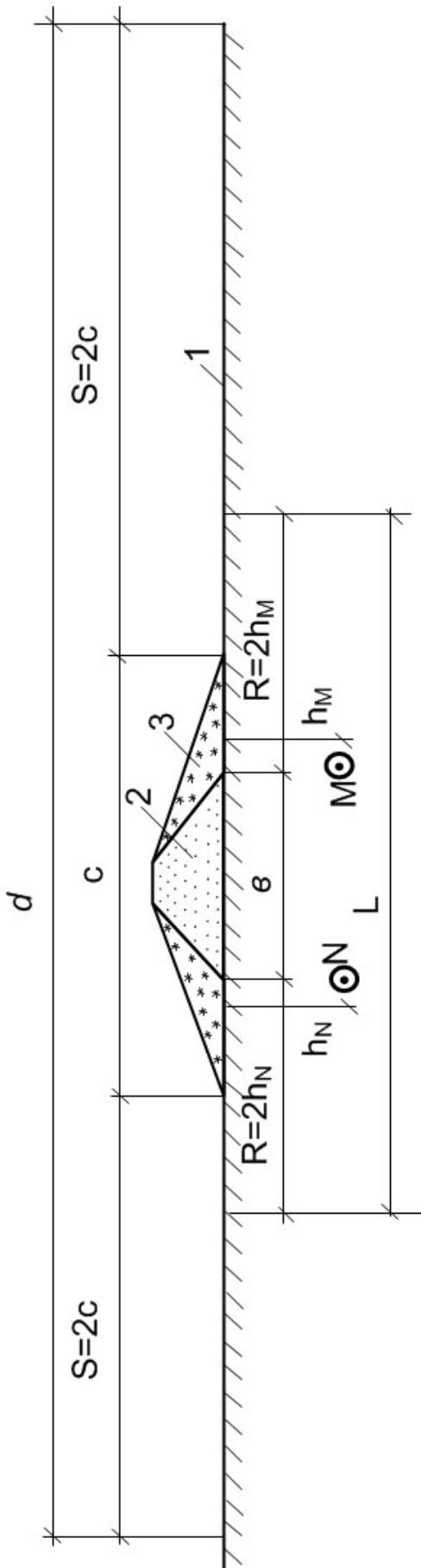


Рисунок 3.1 - Схема расчётной области при прогнозировании температурного режима грунтов в основании насыпи:
 1 – естественная поверхность грунта, 2 – тело насыпи, 3 – зона максимальных снежных отложений
 или других нарушений естественных условий, М, Н – точки на глубине 10 – 20 м от поверхности
 непосредственно под подошвой откоса насыпи (до этой глубины необходимо знание температуры
 грунта), б – ширина подошвы насыпи, h_M , h_N – глубина расположения соответственно точек М и Н,
 L – ширина зоны теплового влияния на грунты, расположенные непосредственно под насыпью при
 приближённом расчёте, С – ширина зоны теплового нарушения естественных условий, S – ширина
 зоны теплового взаимовлияния с зоной С, d – общая ширина расчетной области при точном расчёте

Практически заранее это определить трудно, поэтому поступают следующим образом: назначают ширину «d» области, равной «5с» (рис. 3.1). Как правило, это удовлетворяет требуемым условиям. Если же в результате расчётов изотермы по краям не параллельны поверхности 1, то область уширяют, и расчёт повторяют снова. По глубине расчётной области рассуждения аналогичные. Обычно эта величина принимается равной не менее 50-60 м.

Для оценочных приближённых расчётов ширина расчётной области может быть принята меньшей величины. На рис. 3.1 ширина области равна «L», где

$$L = b + 2h_m + 2h_N \quad (\text{рис. 3.1}).$$

При этом «N» и «M» находится под подошвой откоса насыпи на глубине 10-20 м, т.е. той глубине, до которой нам важно знать температуру грунта для определения несущей способности сооружения.

На основании изложенных соображений на рис. 3.2 приведён пример для определения температуры грунта в точке «M» на глубине 10 м в произвольном по ширине насыпи месте. Для этого необходима зона шириной 40 м, а температура грунта в точке «M» определяется по формуле (см. гл. 2):

$$t_M = \frac{\sum_{i=1}^n c_i t_i}{40},$$

где

t_M - температура t в точке М, град;

C_i - ширина i -той зоны, расположенной в пределах 40 м;

t_i - температура грунта на глубине 10 м в i -той зоне, град;

n – количество зон в пределах 40 м.

Расчётную область, определённую в соответствии с рекомендациями данного раздела, следует разбить на отдельные зоны с различным тепловым влиянием.

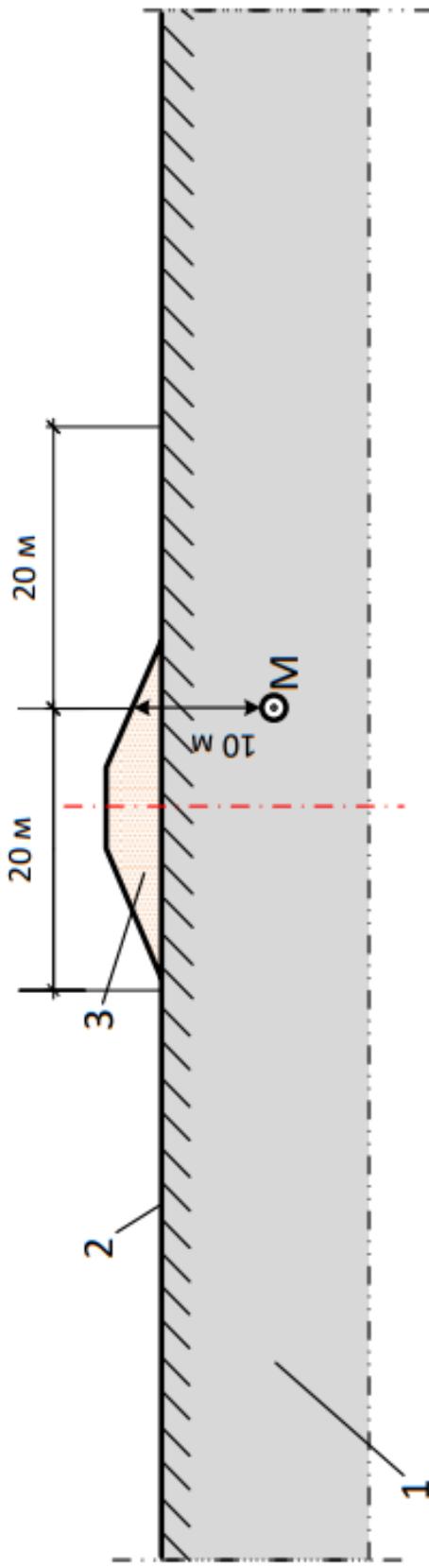


Рисунок 3.2 - Расчётная область теплового влияния для произвольной точки «М», находящейся на глубине 10 м от поверхности: 1 – грунты основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи

Разбивку на зоны следует производить в соответствие с характером граничных условий: температуры наружного воздуха (или воды) и коэффициента теплопередачи. Примеры разбивки приведены на рис. 3.3. Разбивка произведена в зависимости от наличия на поверхности растительного покрова и толщины снежного покрова, температуры воздуха.

3.3. Граничные условия

3.3.1. Виды и структура граничных условий на различных границах расчётной области

Как уже было отмечено (п. 3.2), расчётная область выделяется отдельным самостоятельным элементом («телом») со своими условиями на всех границах. Можно всю границу расчётной области разделить на три части: нижняя поверхность, расположенная на глубине 50-60 м, боковая поверхность, граничащая в натуре с соседними областями, и верхняя поверхность, граничащая с внешней средой (воздух, вода). На нижней и боковых поверхностях задаются граничные условия второго рода (отсутствие на границе теплового потока в перпендикулярном к границе направлении). Они определяются в самом алгоритме программы на ЭВМ и никаких исходных данных не требуют. Что касается верхней границы, то на ней действуют граничные условия третьего рода, которые содержат два параметра: температуру среды и условия теплообмена внешней среды с твёрдым телом на их границе. Эти параметры будут рассмотрены ниже.

3.3.2. Температура среды

Под температурой среды понимается либо температура воздуха, либо воды, если расчётные области находятся в зоне водоёма или водотока.

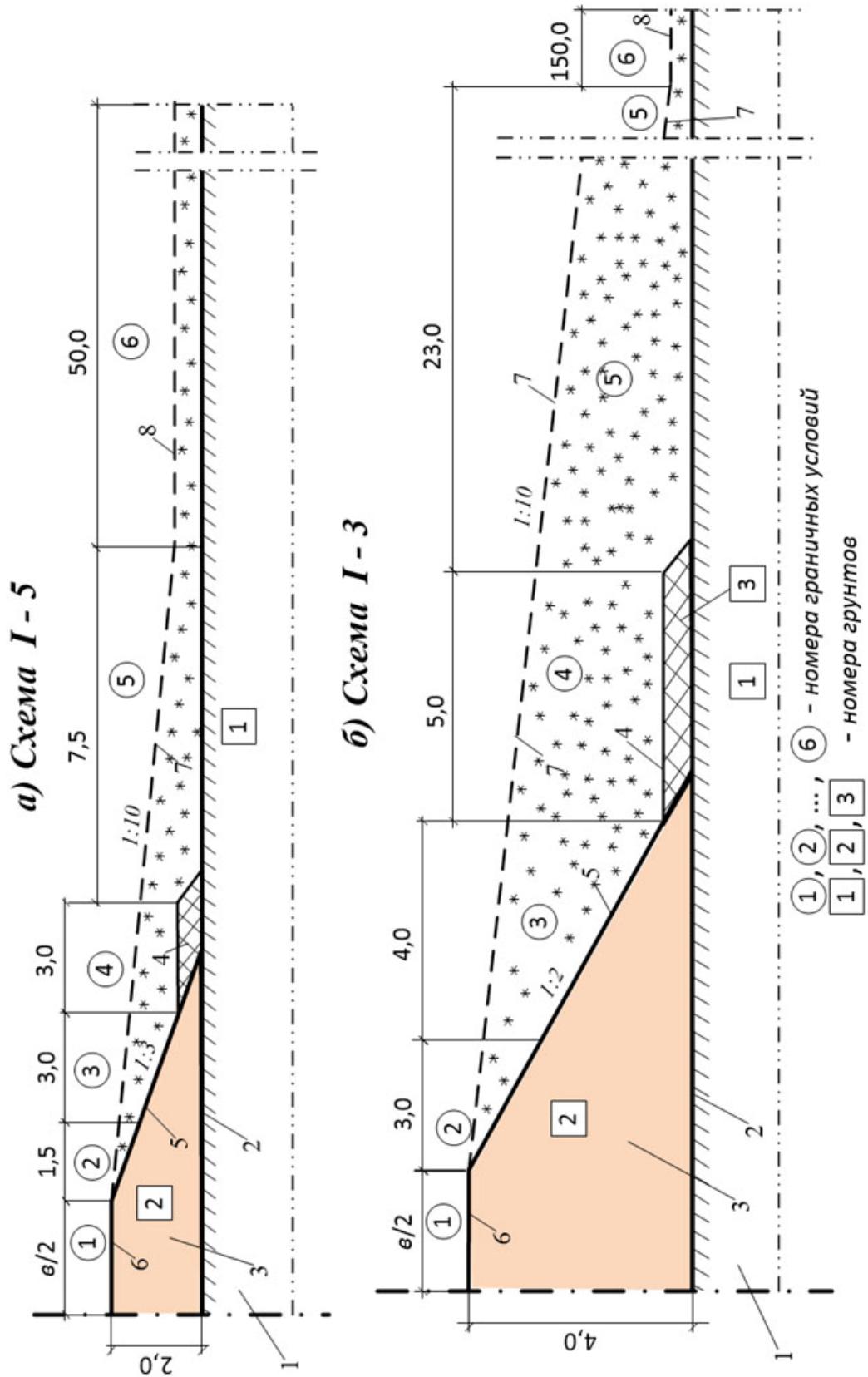


Рисунок 3.3 - Примеры разбивки расчётной области на зоны: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – откос насыпи, 6 – основная площадка насыпи, 7 – откос снежных отложений, 8 – поверхность снежных отложений в ненарушенной зоне

В качестве исходных данных необходимо иметь 12 среднемесячных значений температуры и среднегодовое значение. Эти данные принимаются по СП-131 [20] или по материалам метеостанции.

Расчёты по прогнозированию температурного режима грунтов следует проводить по приведённой температуре воздуха, которая учитывает поправку на солнечную радиацию. Приведённую температуру определяют по формуле:

$$t = t + \Delta t \quad (3.1)$$

где Δt - температурная добавка (среднегодовое значение), определяемая для конкретного региона в зависимости от географической широты:

более 69° - плюс $0,7^\circ\text{C}$;

$65^\circ - 69^\circ$ - плюс $1,3^\circ\text{C}$;

$63^\circ - 65^\circ$ - плюс $1,7^\circ\text{C}$;

$60^\circ - 63^\circ$ - плюс $2,1^\circ\text{C}$;

менее 60° - плюс $2,5^\circ\text{C}$.

В температуре воздуха должны быть определены также поправки на охлаждающие испарительные процессы с поверхности и глобальное потепление. Пояснение по этому вопросу см. в главе 14, а также в Методических рекомендациях [7].

Примеры расчёта приведённой температуры воздуха для объектов 5 рассматриваемых регионов приведены в приложении Б.

3.3.3. Условия теплообмена на поверхности

Условия теплообмена на поверхности определяются коэффициентом теплопередачи A , ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}$)

$$A = \frac{1}{R \cdot F}, \quad (3.2)$$

где R - термическое сопротивление на поверхности, час·град/ккал;

F - площадь поверхности, на которую распространяется термическое сопротивление, м^2 . Принимаем в этих формулах $F = 1 \text{ м}^2$.

Общее термическое сопротивление « R » можно разделить на три составляющие:

$$R = R_a + R_e + R_u, \quad (3.3)$$

где R_a – термическое сопротивление между поверхностью твёрдого тела и окружающей средой. Принимаем в расчётах

$R_a = 0,05$ час·град/ккал - для воздуха;

$R_a = 0$ - для воды;

R_e - термическое сопротивление естественных факторов (травяной покров, снежный покров и т. п.). Допускается принимать для травяного покрова

$R_e = 0,5$ час·град/ккал.

Термическое сопротивление снежного покрова определяется по формуле:

$$R_c = \frac{h_{ch}}{\lambda_{ch} \cdot F}, \quad (3.4)$$

где h_{ch} - расчётная величина снежного отложения, м,

λ_{ch} - коэффициент теплопроводности снежного отложения, ккал/(м·час·град),

$F = 1 \text{ м}^2$.

Рекомендации по определению R_c снежных отложений приведены в Приложении В;

R_u - термическое сопротивление искусственной теплоизоляции, т.е. формируемой специально для достижения более благоприятного температурного режима грунтов тела и основания насыпи. В состав искусственной теплоизоляции могут входить различные элементы (пенополистирол, защитный слой грунта, торфяная прослойка и т.п.) или их сочетание.

В этом случае термическое сопротивление « R_u » определяется по формуле:

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + \dots + R_{un}, \quad (3.5),$$

где $R_{u1}, R_{u2}, \dots, R_{un}$ - термическое сопротивление отдельных составляющих

$$R_{ui} = \frac{h_{ui}}{\lambda_{ui} \cdot F}, \quad (3.6)$$

где h_{ui} и λ_{ui} - соответственно толщина слоя и коэффициент теплопроводности соответствующих составляющих. Коэффициент теплопроводности пенополистирола может быть принят равным (Приложение Е, п. Е.2)

$$\lambda_{\text{п}} = 0,031 \text{ ккал}/(\text{м}\cdot\text{час}\cdot\text{град}).$$

Теплофизические характеристики других материалов рассмотрены в разделе 3.4.

Учёт искусственной теплоизоляции по формуле 3.6 позволяет более просто составить расчётную область. Более точные результаты могут быть получены, если искусственную теплоизоляцию рассматривать как самостоятельные блоки расчётной области. В этом случае учитывается не только теплопроводность материала, но и теплоёмкость и скрытые теплоты. Но при малых толщинах слоёв - это уточнение обычно незначительное.

В пределах огромной территории, где распространена мерзлота, условия теплообмена совершенно различные. Выделено 5 регионов, охарактеризованных в Приложении Б. Примеры подбора поперечного сечения насыпи и комплекса мероприятий по охлаждению приведены в главах 6-10.

3.4. Термофизические характеристики материалов

Для проведения теплофизических расчётов необходимо и достаточно наличие следующих теплофизических характеристик материалов:

- коэффициент теплопроводности, ккал/(м·час·град),
- объёмная теплоёмкость, ккал/(м³·град),
- скрытое теплоты, ккал/м³,
- температура (диапазон температур) фазового перехода материала, град.

В связи с тем, что процессы происходят в талой и мёрзлой зоне (формулировка задачи Стефана приведена в гл. 2), коэффициент теплопроводности и объёмная теплоёмкость должны быть представлены для талого и мёрзлого состояний.

Для осуществления расчётов при проектировании конкретных объектов должны быть определены по данным изысканий прежде всего виды грунтов и их распространение. Термофизические характеристики допускается определять по справочным данным, например, по СП 25 [19].

Примерные оценочные теплофизические характеристики приведены в табл. 3.1.

3.5. Начальные температурные условия

Как отмечено в главе 2, для осуществления анализа температурного режима грунтов тела и основания насыпи нам необходимо два начальных состояния:

- 1) полученное при инженерно-геологических изысканиях на момент начала строительства;
- 2) сформированное в момент окончания строительства.

Температурное поле, полученное при инженерно-геологических изысканиях, относится только к территории, на которой намечается строительство, и содержит данные о фоновой температуре на глубине нулевых амплитуд (т.е. на глубине 10-20 м) и распределение температуры по глубине до 10-20 м на период года, когда начинается строительство.

Температурное поле, сформировавшееся в момент окончания строительства, относится уже к расчётной области в целом, с учётом насыпи и содержит сумму поля на момент начала строительства и температурного поля в зоне насыпи с учётом тепловых вкладов во время строительства.

Фоновые температуры определяются по данным изысканий. Для оценочных расчётов можно использовать данные таблицы 3.2.

Таблица 3.1 - Теплофизические характеристики материалов

Материал	Коэффициент теплопроводности, $\lambda, \text{ккал}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{град})$		Объемная теплоемкость, $C, \text{ккал}/(\text{м}^3\cdot\text{град})$		Скрытые теплоты, $Q \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}$
	таль	мерзлый	таль	мерзлый	
Мох сухой	0,3	0,65	250	140	9400
Мох водонасыщенный	0,45	1,43	850	445	65700
Торф влажный	0,4	1,1	690	485	33500
Торф водонасыщенный	0,6	1,3	950	680	57500
Суглинок водонасыщенный	1,6	1,9	650	500	20000
Вода	3,0	2,0	1000	500	80000
Песок сухой	1,30	1,40	510	435	12000
Песок водонасыщенный	1,8	2,4	640	480	25600
Суглинок сухой	1,10	1,30	600	480	15000
Водотрава	0,5	2,0	650	500	80000

Таблица 3.2 – Фоновые температуры грунта

№ региона	Примерная температура наружного воздуха, °C		
	-6 °C	-9 °C	-11.5 °C
I	-2.0	-3.0	-4.0
II	-1.0	-2.0	-3.0
III	-0.5	-1.0	-2.0
IV	-0.5	-1.0	-
V	-0.5	-1.0	-

3.6. Закон теплопередачи

Закон теплопередачи должен быть известен в пределах всей области, где определяется температурный режим.

В главе 2 уравнение (2.1) представляет собой формулировку кондуктивной теплопередачи, т.е. за счёт теплопроводности самого материала. Большинство программ, разработанных для расчёта температурного режима, предусматривают именно этот случай.

Однако в практике имеют место и другие случаи:

- совмещение кондуктивной и конвективной теплопередачи за счёт передачи тепла фильтрующей горизонтально водой и за счёт вертикальной инфильтрации дождевых вод;
- лучевая теплопередача за счёт солнечной радиации;
- внутренние источники (термоопоры, термостабилизаторы, экзотермия цемента при твердении монолитных железобетонных столбов и т. п.).

Учитывать эти случаи можно следующими способами:

- использовать для расчёта температурного режима другие программы;
- применять условные приёмы для использования имеющихся программ (фильтрацию дождевых вод учитывать увеличением коэффициента теплопроводности грунта, солнечную радиацию моделировать температурной добавкой к нормативной температуре воздуха (см. п. 3.3.2), термоопоры моделировать отдельной внутренней областью со своими границами и граничным условием 3-го рода и т. д.);
- конструктивными приёмами не допускать указанных случаев (например, устройством перемычки исключить горизонтальную фильтрацию).

4. МЕСТО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В ОБЩЕМ КОМПЛЕКСЕ МЕРОПРИЯТИЙ

4.1. Многогранность теплового влияния теплоизоляции

Теплофизический смысл теплоизоляции однозначен: теплоизоляция увеличивает термическое сопротивление прохождению тепла между двумя поверхностями. Таким образом, теплоизоляция всегда является дополнительным термическим сопротивлением, и ничем другим, но поскольку тепловые процессы формируются в общем случае в трёхмерной области с различными тепловыми воздействиями на разных границах рассматриваемой области, соответствующая установка теплоизоляции (по месту расположения, по форме воплощения, по размерам) может решать различные задачи и по-своему влияет на тепловой процесс (она может замедлять тепловой процесс, ускорять, разделять его составляющие и т.п.). Однозначность теплофизической роли теплоизоляции и многообразие тепловых процессов, на которые она влияет, сформулированы на рис. 4.1.

В рассматриваемой теме - возведение дорожных насыпей на вечной мерзлоте - важными являются две функции теплоизоляции - амортизационная и охлаждающая.

4. 2. Амортизационная функция теплоизоляции

Одной из главных характеристик расчётного температурного поля (т.е. поля, по которому определяется деформация и устойчивость насыпи) является минимально возможная глубина сезонного промерзания (протаивания). Это необходимо и в пределах основной площадки, и в пределах откосов и смежной с откосами территории. В пределах основной площадки снижение глубины сезонного протаивания позволяет уменьшить пучение, а в пределах откосов и смежной территории - позволяет увеличить устойчивость насыпи. Кроме того, это позволяет увеличить объём отсыпки

Теплофизический смысл теплоизоляции однозначен: теплоизоляция увеличивает термическое сопротивление прохождению тепла между двумя параллельными поверхностями, т.е. является дополнительным термическим сопротивлением.

Функции теплоизоляции в различных тепловых процессах:

- тепловая амортизация;
- охлаждение грунтов оснований;
- утепление элементов сооружений;
- разделение тёплых и холодных зон;
- замедление процесса охлаждения;
- ускорение процесса охлаждения;
- достижение увеличенного суммарного эффекта при сочетании с поверхностным, глубинным, боковым видами охлаждения.

Рисунок 4.1 – Однозначность теплофизической роли теплоизоляции и многообразие тепловых процессов, на которые она влияет

мёрзлыми грунтами. Именно на этом требовании основаны некоторые классификации в разделе 1.3. Схематически это показано на рис. 4.2.

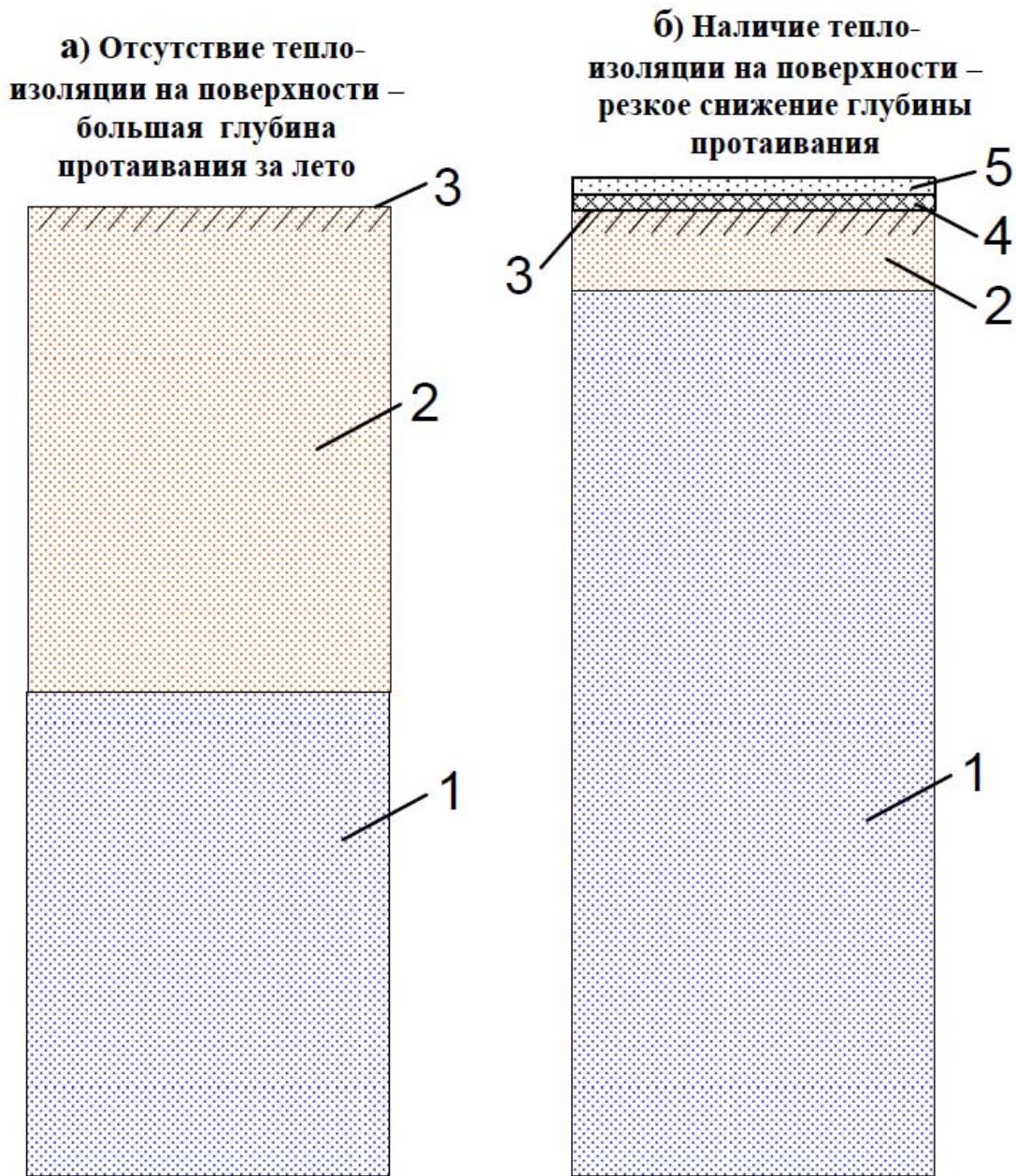
Практически только с помощью теплоизоляции возможно снизить глубину сезонного протаивания, поэтому теплоизоляция является составной частью большинства комплексов мероприятий по стабилизации температурного режима грунтов. В этом случае теплоизоляция относится к мероприятиям всесезонного действия (п. 1.3).

4.3. Охлаждающая функция теплоизоляции

Охлаждение грунтов основания. Расположение теплоизоляция на естественной поверхности грунта при наличии зимой снежных отложений вызывает охлаждающий эффект. В этом случае это мероприятие летнего действия (п. 1.3). На рис. 4.3 приведена принципиальная зависимость температуры грунта на глубине нулевых амплитуд от высоты снежного покрова для двух вариантов: без теплоизоляции и с теплоизоляцией на поверхности. Температура грунта на глубине нулевых амплитуд определялась расчётами для каждой толщины снега для климатических условий Салехарда. Из графиков рис. 4.3 мы видим следующее.

При полностью оголенной от снега и летом от растительного покрова поверхности температура грунта на глубине нулевых амплитуд в обоих случаях в установившемся режиме устанавливается одна и та же - примерно минус 6°C. Но далее, при увеличении толщины снега, кривые резко расходятся: при толщине снега 0,3 м на глубине нулевых амплитуд устанавливается температура 0°C (т.е. начинается деградация мерзлоты), а при наличии пенополистирола XPS ТЕХНОНИКОЛЬ толщиной 0,1 м температура равна минус 3,5°C. А нулевого значения температура достигает только при толщине снега 0,75 м.

На рис. 4.4 наглядно показаны причина и итог укладки теплоизоляции в зоне отложения снега в зимний период: снижение соотношений зимнего и летнего термических сопротивлений на поверхности приводит к тому, что в установившемся режиме вместо эпюры 6 распределения температуры на глубине формируется эпюра 7.



Амортизационная функция выражается в уменьшении глубины сезонного протаивания. Это может быть важно при проектировании выемок, нулевых мест на сильнопросадочных при оттаивании грунтах, насыпей с целью сохранения грунтов в мёрзлом состоянии при зимней отсыпке, а также для снижения опасности пучения.

Рисунок 4.2 – Тепловая амортизация, формируемая укладкой теплоизоляции на поверхности грунта: 1,2 – соответственно мёрзлый и талый грунт на момент окончания тёплого периода года, 3 – естественная поверхность грунта, 4 – слой теплоизоляции, 5 – защитный слой грунта

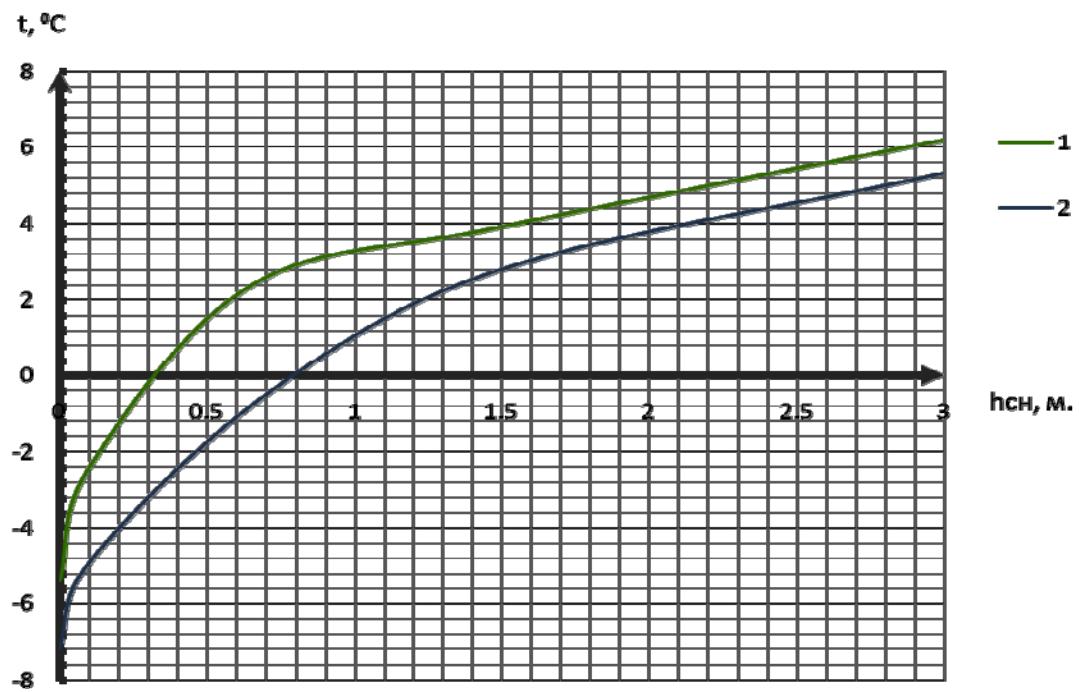


Рисунок 4.3 - Зависимость температуры на глубине нулевых амплитуд от высоты снежного покрова для вариантов берм: 1 - из обычного грунта, 2 - из обычного грунта с XPS ТЕХНОНИКОЛЬ 0.1 м

Изменение температуры воздуха в течении года

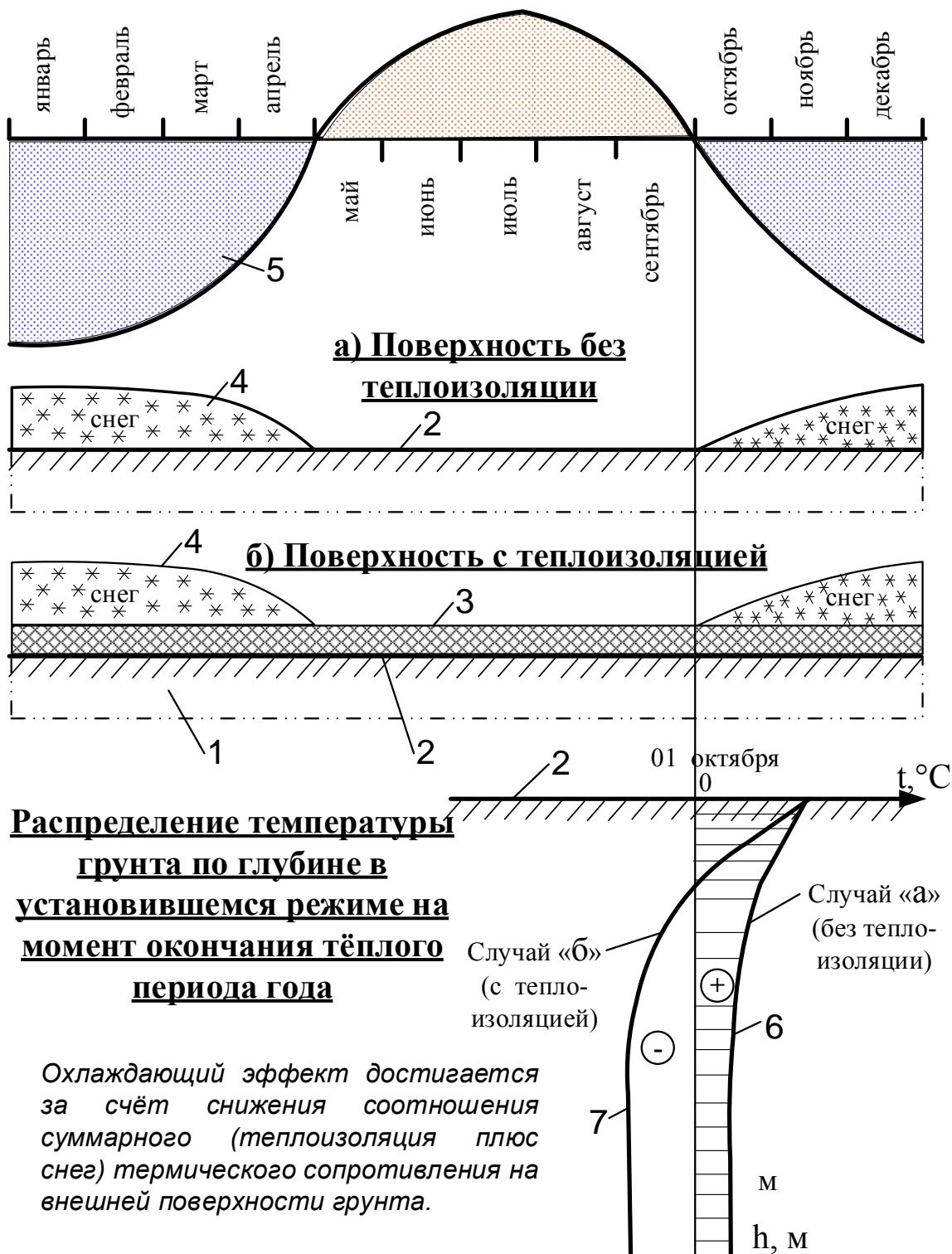


Рисунок 4.4 – Принципиальная схема охлаждающего влияния теплоизоляции: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – теплоизоляция, 4 – снежные отложения, 5 – годовые изменения температуры воздуха, 6,7 – распределение температуры грунта по глубине соответственно без теплоизоляции и с теплоизоляцией

Охлаждающий эффект теплоизоляции приводит к практическому результату: на рис. 4.5 показано, что укладка теплоизоляции в зоне снежных отложений в корне изменила температурный режим грунтов тела и основания насыпи.

4.4. Обобщённая схема обозначения места расположения и мощности теплоизоляции

В связи с разнообразием конструктивных решений теплоизоляции одной и той же мощности в данных рекомендациях приведены обобщённые схемы обозначения расположения и мощности теплоизоляции, дающие возможность в зависимости от местных условий выбирать рациональные варианты конструктивных решений теплоизоляции.

Расположение теплоизоляции обозначается штриховой линией (рис. 4.6). Мощность теплоизоляции обозначается толщиной в сантиметрах пенополистирола фирмы ТЕХНОНИКОЛЬ в соответствии с её теплофизическими характеристиками, приведёнными в п. 3.3.3. По этой мощности может быть подобрана теплоизоляция любой другой конструкции. В расчётах используется обобщённое значение теплоизоляции, то есть с учётом всех составляющих (защитный слой и т.п.), определяемое по ф. 3.6 главы 3.

Мерзлотное состояние насыпи в конце лета:

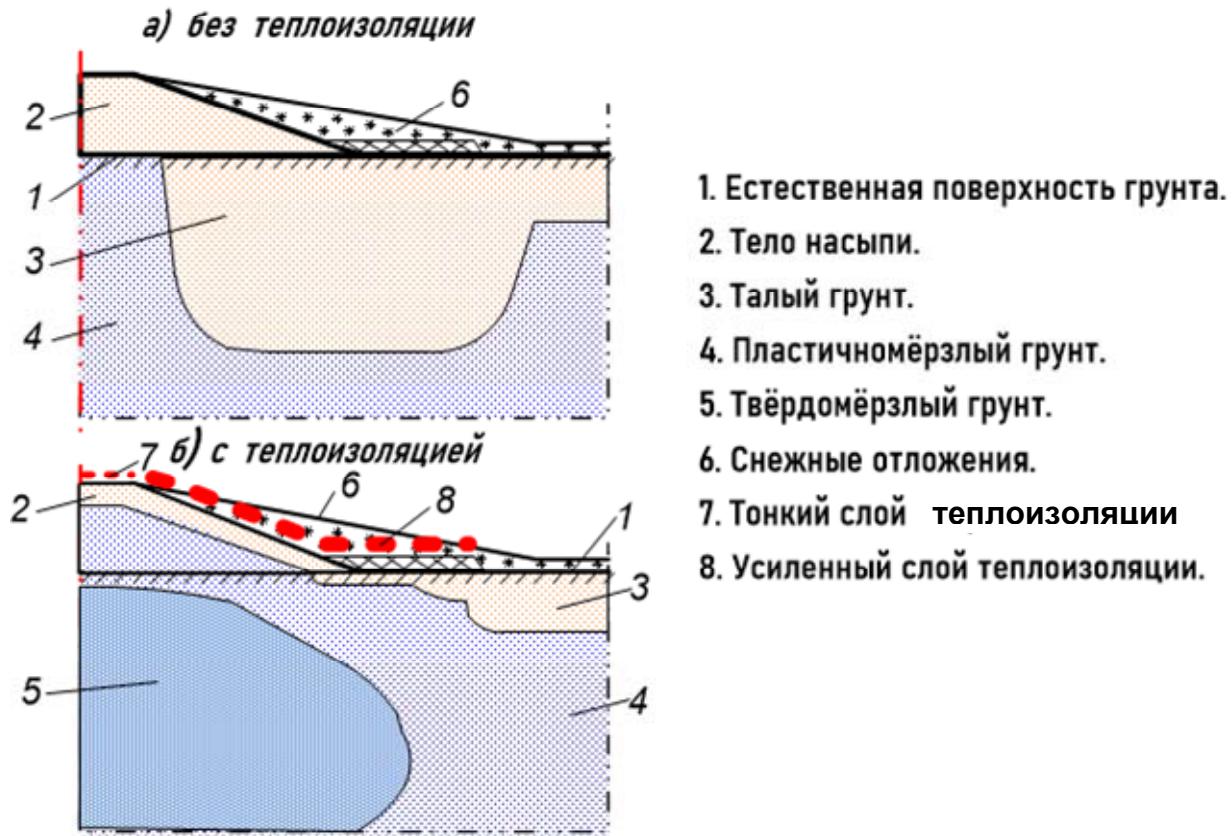


Рисунок 4.5 - Принципиальная схема охлаждающего влияния теплоизоляции

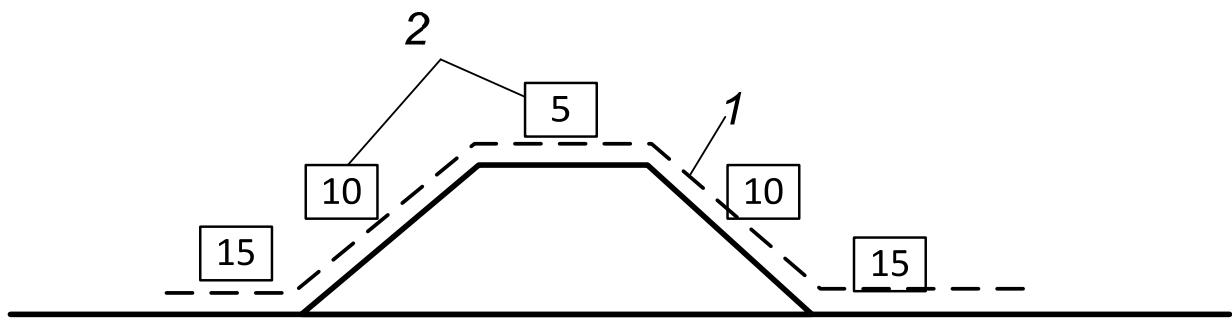


Рисунок 4.6 - Обобщённая схема обозначения расположения и мощности теплоизоляции: 1 – штриховая линия, обозначающая наличие теплоизоляции в этой зоне поверхности насыпи, 2 – толщина теплоизоляции в сантиметрах, приведённая к пенополистиролу ХР5 ТЕХНОНИКОЛЬ

5. СОЧЕТАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОХЛАЖДЕНИЮ ГРУНТОВ

5.1. Целесообразность сочетания различных мероприятий по охлаждению грунтов

Целесообразность сочетания различных мероприятий по охлаждению грунтов определяется двумя причинами:

- 1) каждое мероприятие по-своему влияет на температурный режим. Например, оголённая от снега поверхность позволяет обеспечить низкие температуры в глубинных слоях, а теплоизоляция позволяет сохранить в летний период низкие температуры в поверхностных слоях;
- 2) при сочетании отдельных мероприятий суммарный эффект, как правило, выше суммы эффектов.

Глубинное охлаждение является наиболее эффективным средством, которое может обеспечить расчётный температурный режим в большинстве случаев. На рис. 5.1 приведены три схемы формирования температурного режима. На первом рисунке (рис. 5.1,а) показана насыпь, отсыпанная на мерзлоте несливающегося типа. Никаких мероприятий не применено. В результате замораживания талого слоя не происходит, а нижележащая мерзлота постепенно деградирует по направлению 9. На втором рисунке теплоизоляция обеспечивает формирование области новообразования мерзлоты, которая в направлении 9 увеличивается постепенно до смерзания с нижележащей мерзлотой. Но процесс этот будет медленным. На третьем рисунке применены глубинные системы - термоопоры (или термосифоны). Эффективность резко возрастает, так как в нижележащей мерзлоте формируется область 6 с пониженной температурой. При этом нижележащая мерзлота не только перестаёт деградировать, но, наоборот начинает развиваться вверх навстречу массиву.

На рис. 5.1,б приведена принципиальная схема сочетания теплоизоляции 7 и верхней боковой охлаждающей площадки 10. При этом

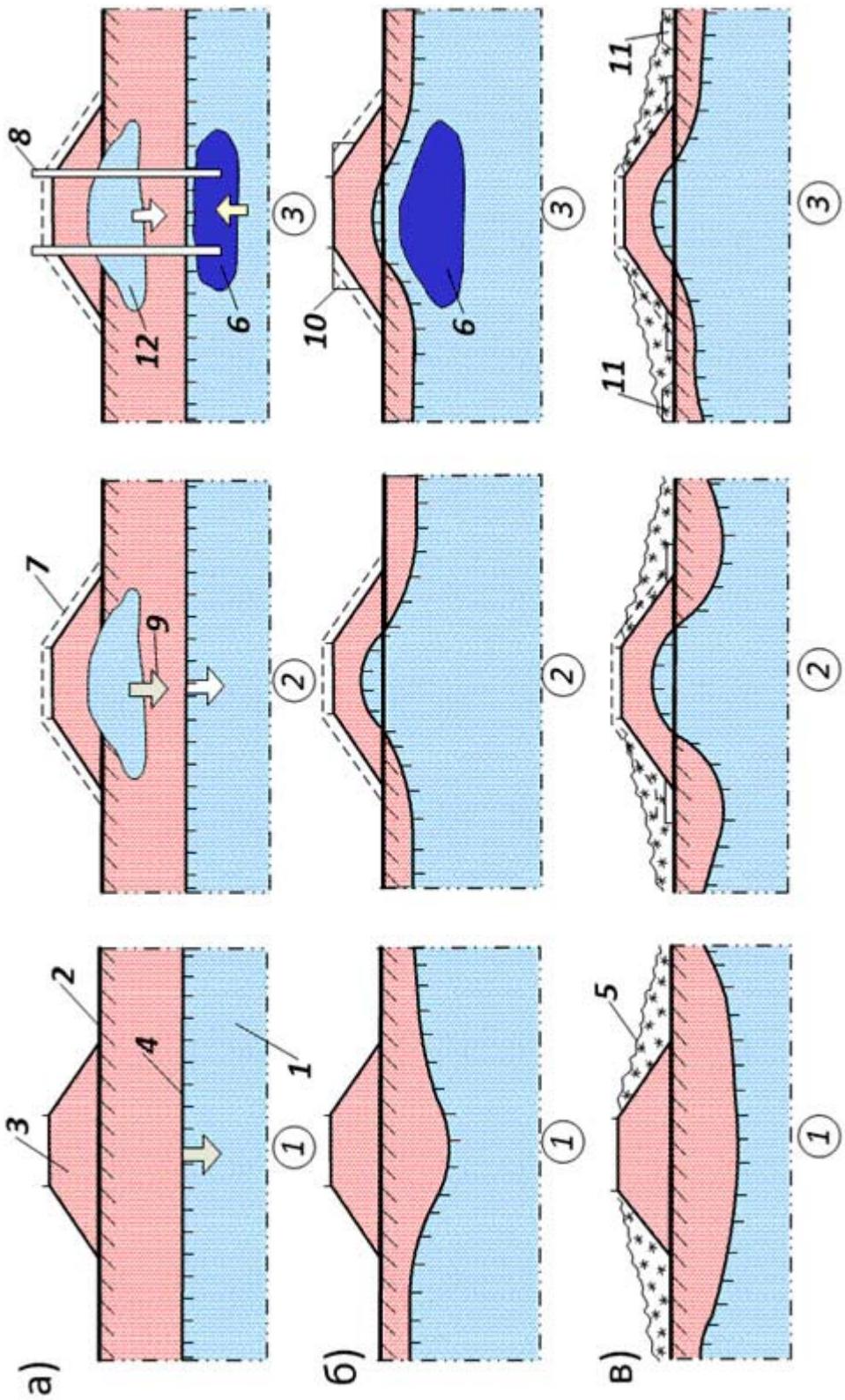


Рисунок 5.1. - Принципиальные схемы, характеризующие эффективность сочетания мероприятий: а - сочетание теплоизоляции с глубинным охлаждением; б - сочетание теплоизоляции с поверхностным охлаждением; в - сочетание безмероприятий, с теплоизоляцией, в сочетании: 1 - грунт основания; 2 - естественная поверхность грунта; 3 - тело насыпи; 4 - верхняя граница мерзлоты; 5 - поверхность снежных отложений; 6 - область с пониженной температурой; 7 - теплоизоляция; 8 - термостабилизаторы; 9 - направление перемещения границы мерзлоты; 10 - верхняя боковая площадка; 11 - нижняя боковая площадка; 12 - область новообразования мерзлоты

изображение 1 характеризует положение верхней границы мерзлоты на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме без применения каких-либо мероприятий. В этом случае имеет место формирование талика под телом насыпи. На изображении 2 показано, что применение теплоизоляции 7 позволило ликвидировать талик, но температура грунта оказалось недостаточной. Применение верхней боковой охлаждающей площадки 10 позволило сформировать дополнительно мёрзлую зону 6 с пониженной температурой.

При наличии снегоотложений 5 в прилегающей к подошве откоса территории формируется талая зона не только под подошвой насыпи, но и в прилегающей (рис. 5.1,в). Исправить это положение может нижняя боковая охлаждающая площадка 11.

5.2. Пример оценки теплового влияния отдельных мероприятий и их сочетания

На рис. 5.2 приведена схема поперечного сечения насыпи высотой 6,0 м для региона V (схема V-5). При отсутствии каких-либо мероприятий температурное поле для п. Мирный представлено на рис. 5.3. В зоне насыпи формируется глубокий талик. На рис. 5.5 представлено это же поперечное сечение с боковой охлаждающей площадкой. На рис. 5.6 показано, что в центре нулевая изотерма резко поднялась в тело насыпи, но талик остался. Применение теплоизоляции (пенополистирола 10 см) существенно улучшает температурное поле (рис. 5.4). Совмещение обоих мероприятий (боковой охлаждающей площадки и теплоизоляции), даёт суммарный эффект, превышающий сумму эффектов (рис. 5.7).

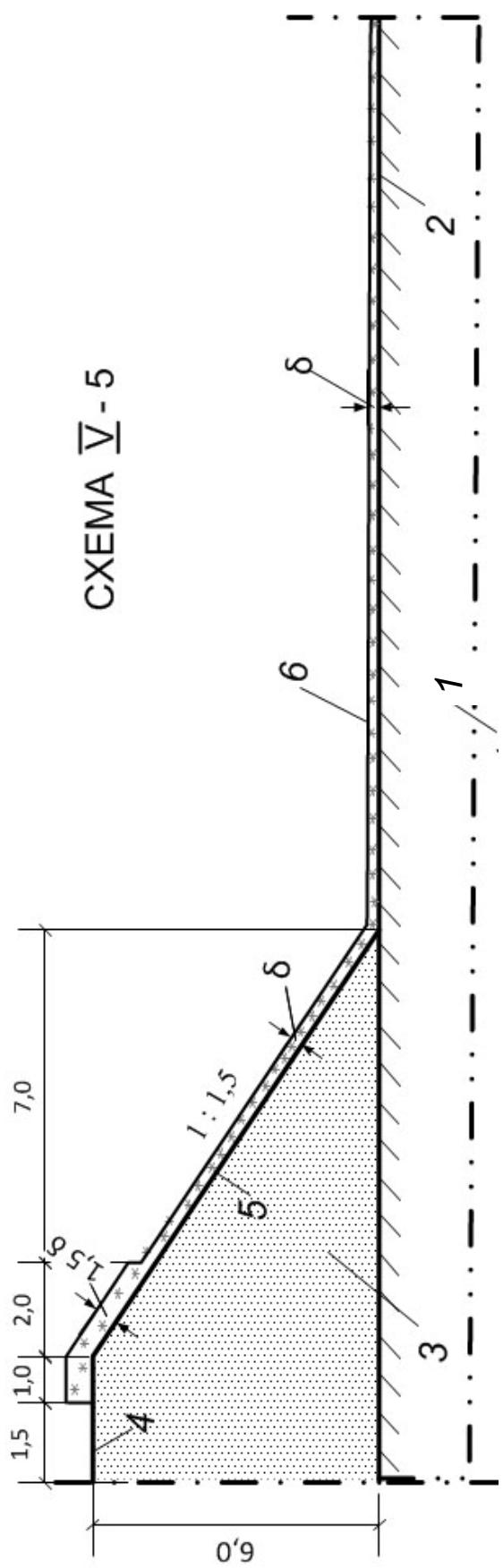


Рисунок 5.2 - Поперечное сечение насыпи высотой 6,0 м для региона V (схема V-5) без применения мероприятий: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – основная площадка насыпи, 5 – откос насыпи, 6 – поверхность снежных отложений

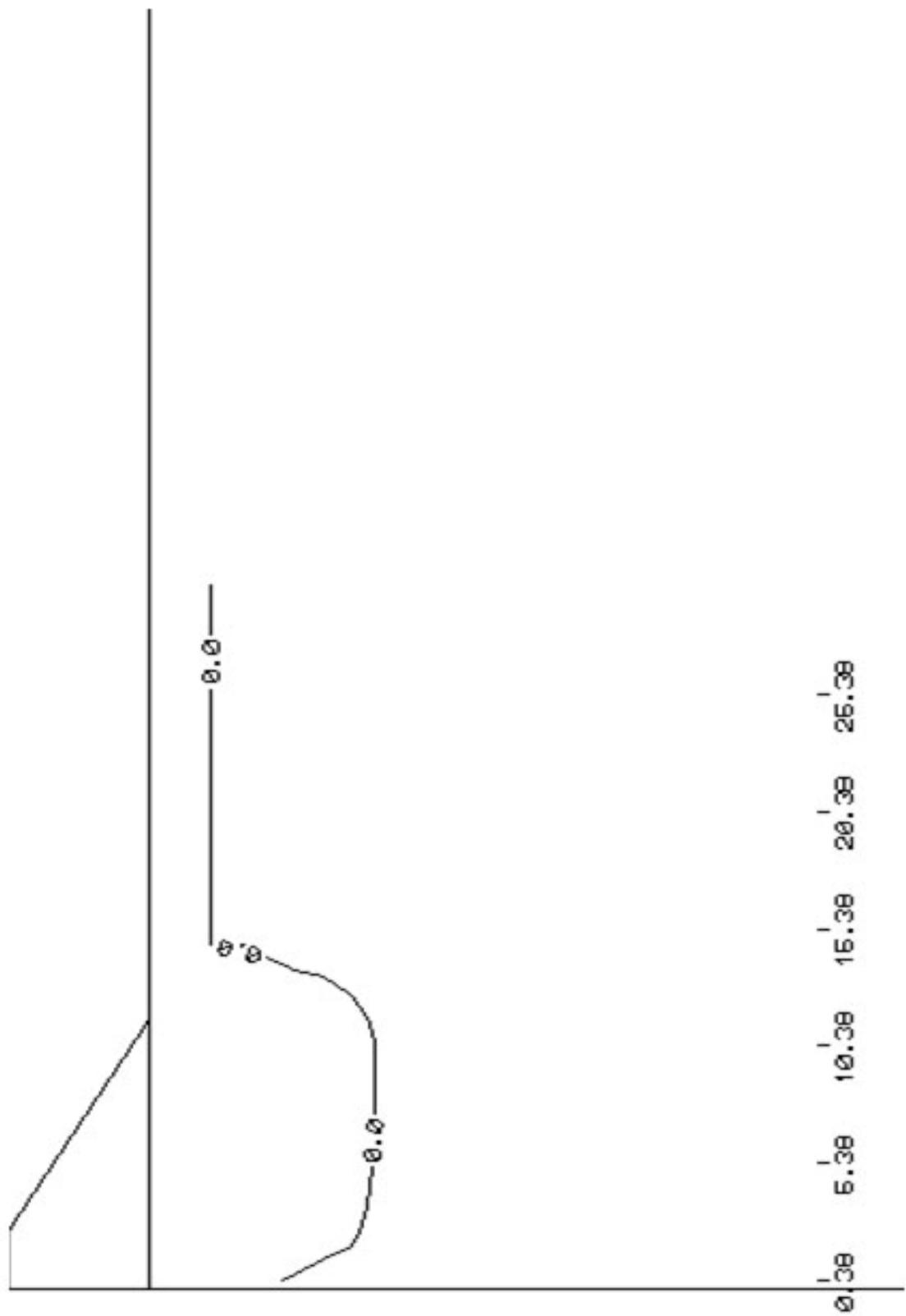


Рисунок 5.3 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установленвшемся режиме. Схема V-5. Мирный. Никаких мероприятий по охлаждению не предусмотрено

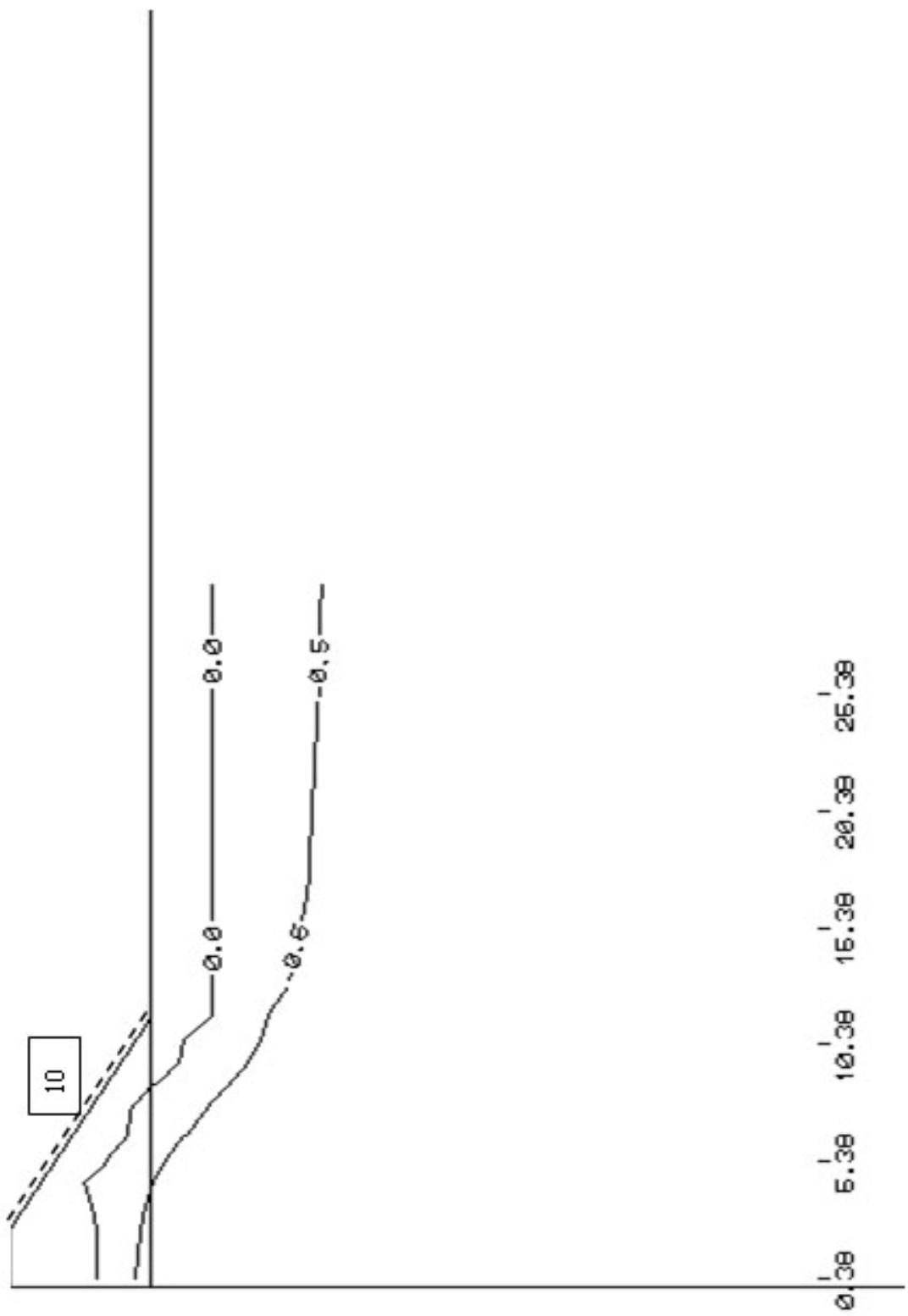


Рисунок 5.4 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установившемся режиме. Схема V-5. Теплоизоляция 10.0 см на откосе. Мирный

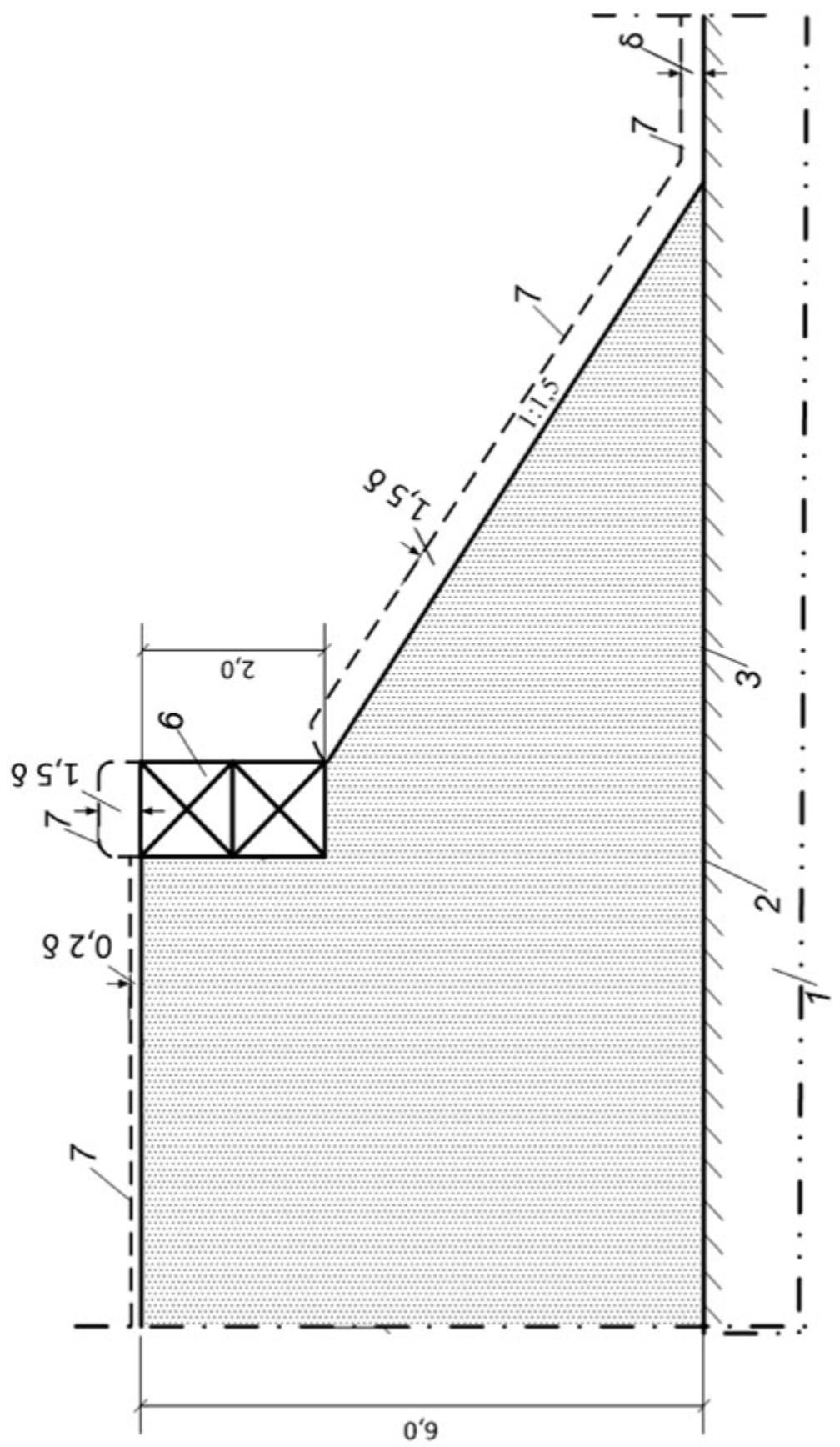


Рисунок 5.5 - Схема насыпи V-5 (схема V-7(схема V-5 с верхней боковой охлаждающей площадкой): 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – основная площадка насыпи, 5 – откос насыпи, 6 – стенка из габионов, 7 – поверхность снежных отложений

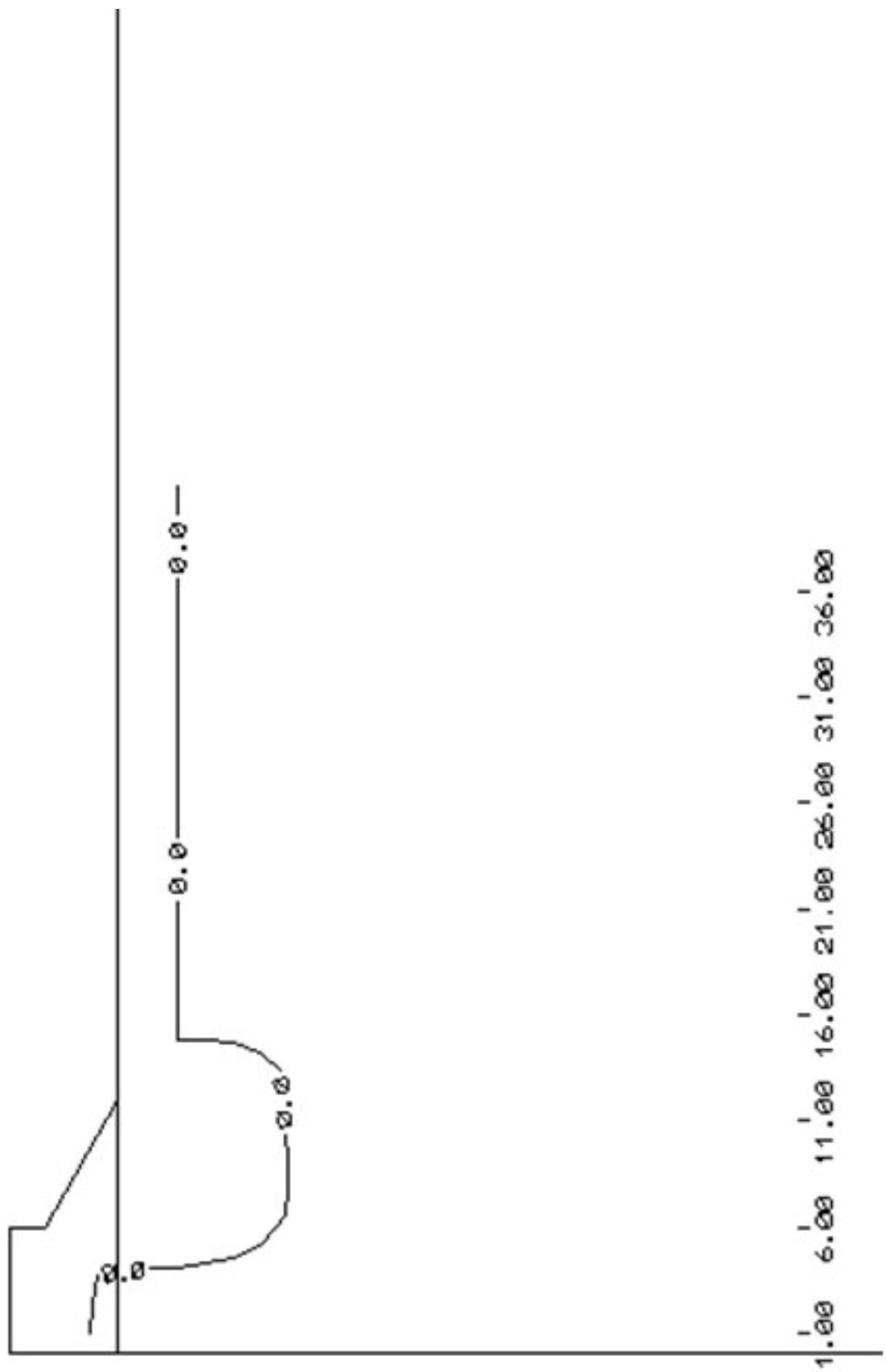


Рисунок 5.6 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установленном режиме. Схема V-7. Мирный

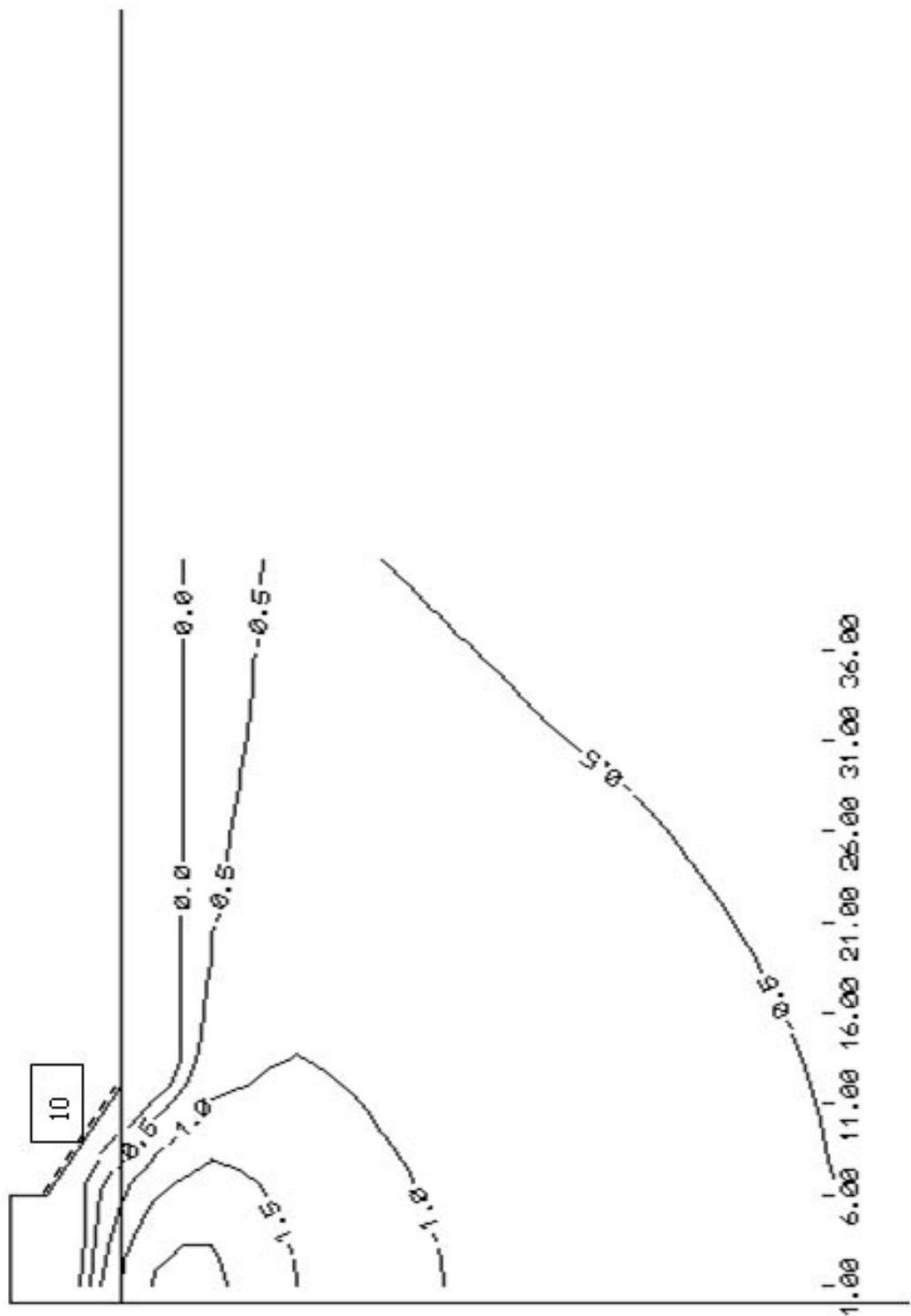


Рисунок 5.7 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установленвшемся режиме. Схема V-7. Мирный

6. ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В РЕГИОНЕ III

6.1. Общие положения

6.1.1. Пояснения к главам 6-10

Основная цель глав 6-10 – показать на примерах как температурный режим грунтов зависит от компоновки схемы поперечного сечения насыпи и комплекса мероприятий по охлаждению в пределах всей области теплового влияния.

В основу изложения материала принят сопоставительный принцип, т.е. как при одной и той же температуре воздуха изменение какого-либо параметра оказывается на температурном режиме грунтов, или как при одном и том же техническом решении насыпи оказывается изменение температуры воздуха на температурном режиме грунтов и т.д.

Для сопоставления вариантов температура воздуха принималась для узловых пунктов соответствующих регионов по СП 131 [20] и корректировалась на солнечную радиацию (Приложение Б). При сопоставительном принципе изложения материала этого достаточно. Для использования примеров непосредственно в проектных решениях в главе 20 (часть II) учтено глобальное потепление. В связи с этим использование рекомендаций данного документа предполагают 2 этапа. На первом этапе поперечное сечение насыпи и мероприятия по охлаждению принимаются по главе 20 части II. На втором этапе при необходимости проводятся расчеты с использованием материалов части I, в частности, материалы глав 6-10.

Целесообразность расчетов (т.е. второго этапа) определяется желанием учесть более полно местные условия, применить другие поперечные сечения насыпи, использовать другой комплекс мероприятий по охлаждению грунтов. В результате могут быть получены более экономичные технические решения.

При расчетах моделирование процесса производились на 50 лет. За это время формировался установившийся режим.

Всего в работе рассматривается 4 группы мероприятий:

- группа 1 - теплоизоляция,

- грунта 2 – верхняя и нижняя боковые охлаждающие площадки с наличием или отсутствием тепловых диодов,
- группа 3 – термоопоры и термостабилизаторы,
- группа 4 – ступенчатые поверхности.

Группа 1 относится к мероприятиям инерционного действия, остальные 3 – к мероприятиям интенсивного действия. Наилучшим техническим решением насыпи в большинстве случаев является то, в котором сочетаются мероприятия интенсивного и инерционного действия.

В главах 6-10 рассмотрены мероприятия групп 1,2,4. Группа 3 рассматривается в главе 11.

6.1.2. Пояснения к главе 6

Регион III характеризуется сильным снегопереносом, при котором снегоотложения у препятствий формируются с уклоном 1:5 (приложение Б), а с возвышенных поверхностей снег сдувается, то есть основная площадка насыпи оголена и является охлаждающей зоной интенсивного действия. Если уклоны насыпи сделать с уклоном 1:5, то это будут тоже охлаждающие зоны интенсивного действия. Однако это приведёт к большому расходу грунта, поэтому наиболее распространённый уклон откосов 1:3. При этом снежные отложения оказываются растепляющими. Применение теплоизоляции компенсирует растепление.

В данном разделе предложены поперечные сечения насыпей и произведены расчёты для трёх пунктов с разными температурами воздуха (г. Салехард, г. Оленёк, п. N). Сами пункты взяты условно, чтобы в расчётах было реальное распределение среднемесячных температур, которое представлено в СП 131 [20]. Эти три пункта представляют три среднегодовые температуры воздуха и охватывают диапазон температур региона III. При этом два пункта взяты из СП, а третий принят по интерполяции, чтобы представить третье значение среднегодовой температуры воздуха. Среднемесячные температуры воздуха для этих пунктов представлены в Приложении Б.

Различные варианты насыпей с использованием мероприятий по охлаждению, аналогичные рассмотренным в главах 6-10, могут быть просчитаны в соответствии с рекомендациями глав 2 и 3.

Общие размеры снежных отложений следует принимать в соответствии с табл. Б.1 Приложения Б. Тепловое влияние снежных отложений рекомендуется определять для каждой зоны граничных условий в соответствии с рис. 6.1-10.1, а толщину теплоизоляции для компенсации этого отрицательного влияния определять по Приложению Д.

Мероприятия групп 2 и 4 сводятся к использованию оголённых от снега поверхностей, поэтому исходные данные для расчётов могут быть также оценены по графикам рис. 6.1-10.1.

Для пояснения содержания данной главы и глав 7, 8, 9, 10 необходимо сделать также следующие замечания:

- место расположения теплоизоляции показано на чертежах штриховой линией, а мощности теплоизоляции - цифрой в квадрате, обозначающей приведённую к пенополистиролу XPS ТЕХНОНИКОЛЬ толщину теплоизоляции. Подробнее см. в п. 4.4 главы 4;

- на чертежах в большинстве случаев указана берма. Под этим обозначением следует понимать конструкцию теплоизоляции (выравнивающий, защитный слои, пенополистирол или слой торфа и т.п.). При этом естественно формируется некий вид бермы. Однако конструктивно это может быть выполнено и в заглублённом виде (см. главу 13);

- порядок написания глав по регионам I, II, III, IV, V не совпадает по порядковым номерам с номерами глав (8, 9, 6, 10, 7). Это сделано, исходя из методических соображений при формировании аргументации текста.

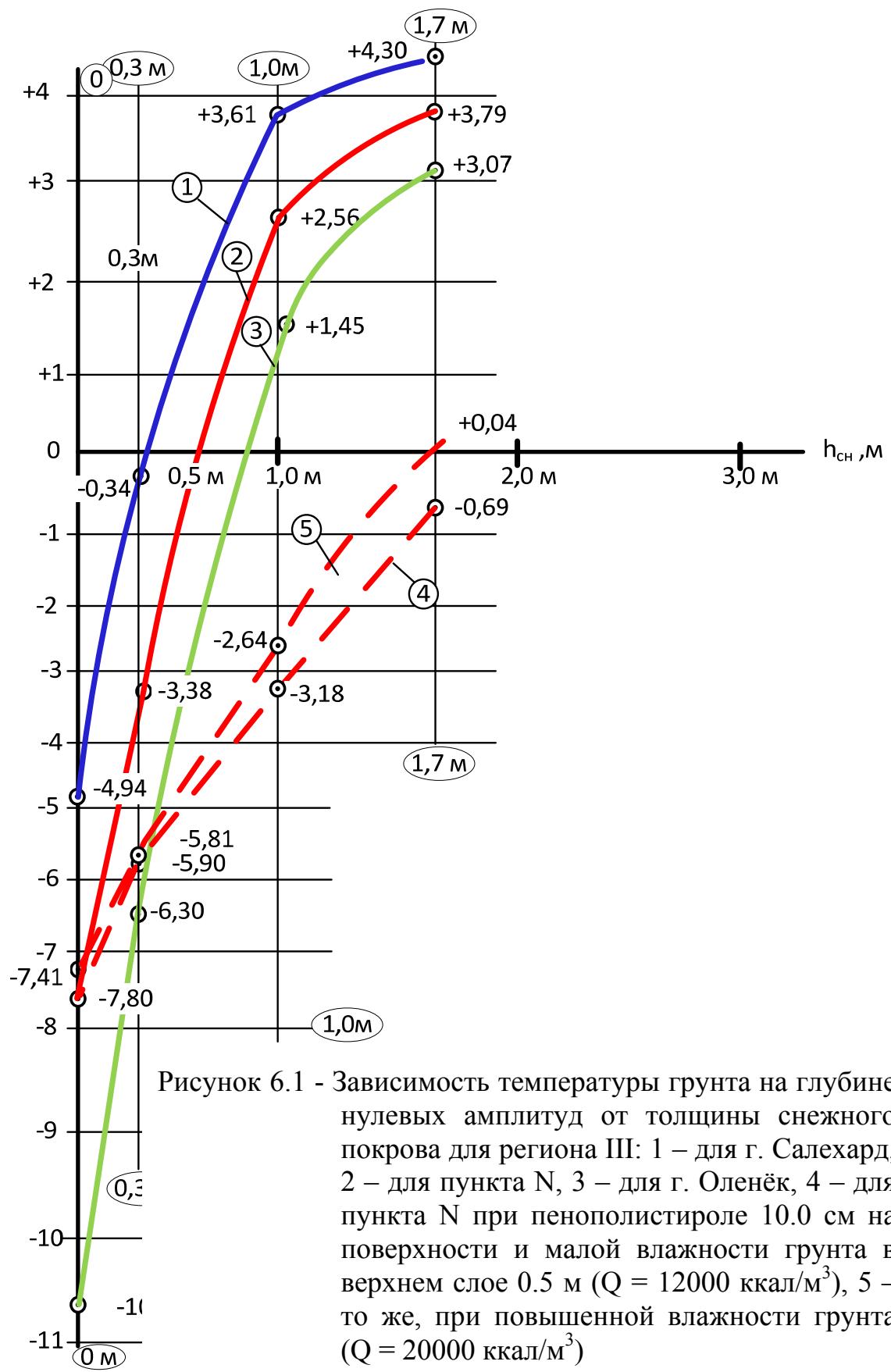


Рисунок 6.1 - Зависимость температуры грунта на глубине нулевых амплитуд от толщины снежного покрова для региона III: 1 – для г. Салехард, 2 – для пункта N, 3 – для г. Оленёк, 4 – для пункта N при пенополистироле 10.0 см на поверхности и малой влажности грунта в верхнем слое 0.5 м ($Q = 12000$ ккал/ m^3), 5 – то же, при повышенной влажности грунта ($Q = 20000$ ккал/ m^3)

6.2. Насыпь высотой 4.0 м

Для высоты насыпи 4,0 м рекомендуется два вида поперечных сечений: схемы Ш-1 и Ш-2 (рис. 6.2). Схема Ш-2 более простая в сооружении. Схема Ш-1 более сложная, так как она содержит нижнюю боковую охлаждающую площадку 5. В обеих схемах тело 3 насыпи состоит из уплотненных грунтов, соответствующих нормативным требованиям. Берма 4 и боковая охлаждающая площадка 5 могут быть выполнены из местных неуплотненных грунтов. В этом случае схема Ш-1 более экономичная, чем схема Ш-2, поскольку общее количество грунта в первом случае меньше общего объема грунта на 9%, а дорогостоящего привозного грунта на 31%.

Для температурных условий г. Оленек и пункта «N» замораживания грунтов оснований за счет дополнительных мероприятий не требуется: температура грунтов оснований в г. Оленек и пункта «N» в зоне насыпи понижается соответственно до минус 3.5°C и 1.5°C (рис. 6.3,б и в). В указанных зонах теплоизоляция толщиной 5 см может быть применена на основной площадке и верхней трети откоса для уменьшения глубины сезонного промерзания и, следовательно, снижения опасности пучения (при необходимости). В зоне г. Салехарда грунты основания находятся в пластичномёрзлом состоянии, поэтому требуют дополнительного понижения температуры (рис. 6.3,а).

Рекомендуемые схемы охлаждения приведены для зоны г. Салехарда на рис. 6.4, 6.5, 6.6.

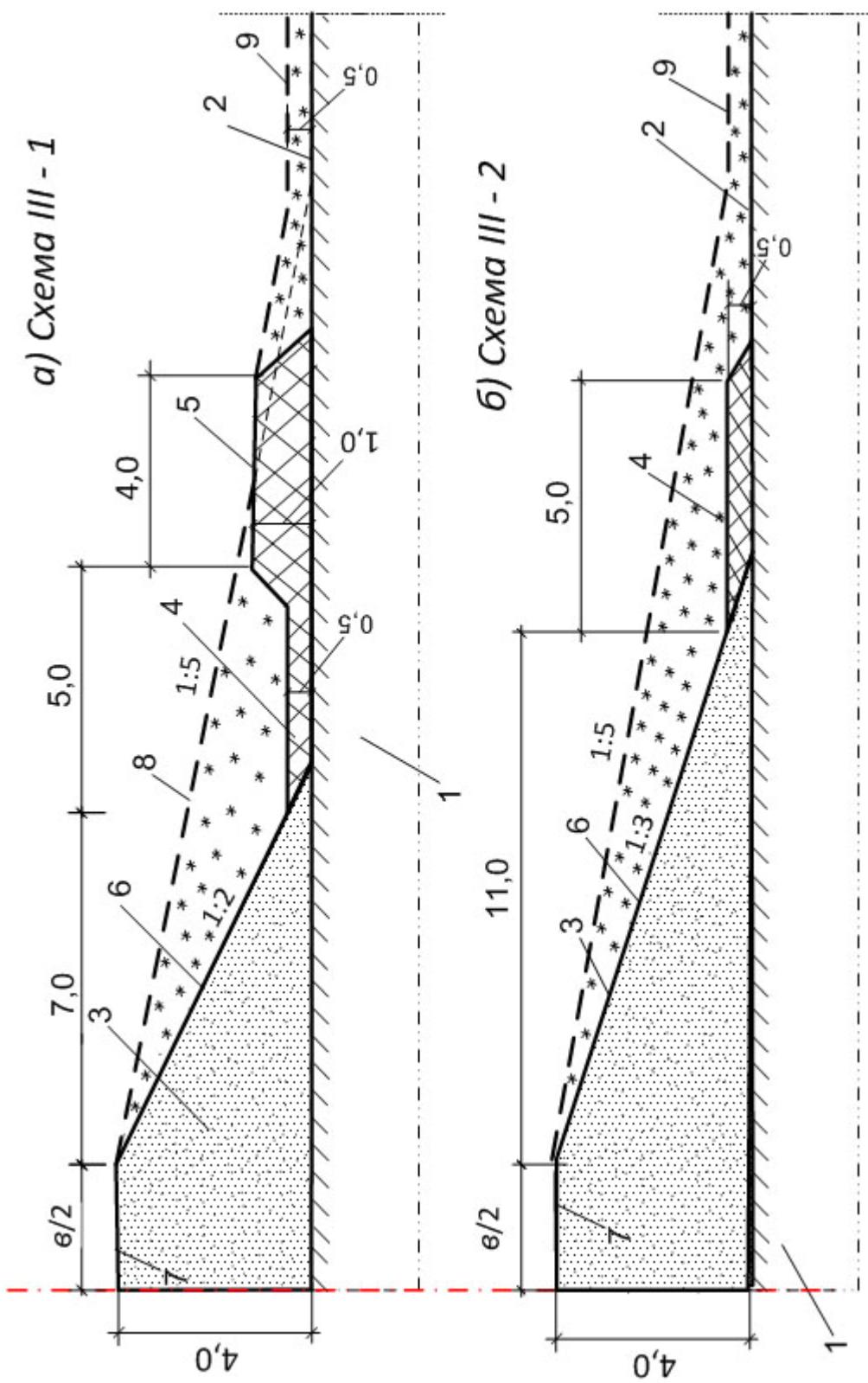


Рисунок 6.2 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 4 м для региона III: а, б – соответственно схемы III-1 и III-2, 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – нижняя боковая охлаждающая площадка, 6 – откос насыпи, 7 – основная площадка насыпи, 8 – откос снежных отложений, 9 – поверхность снежных отложений в ненарушенной зоне

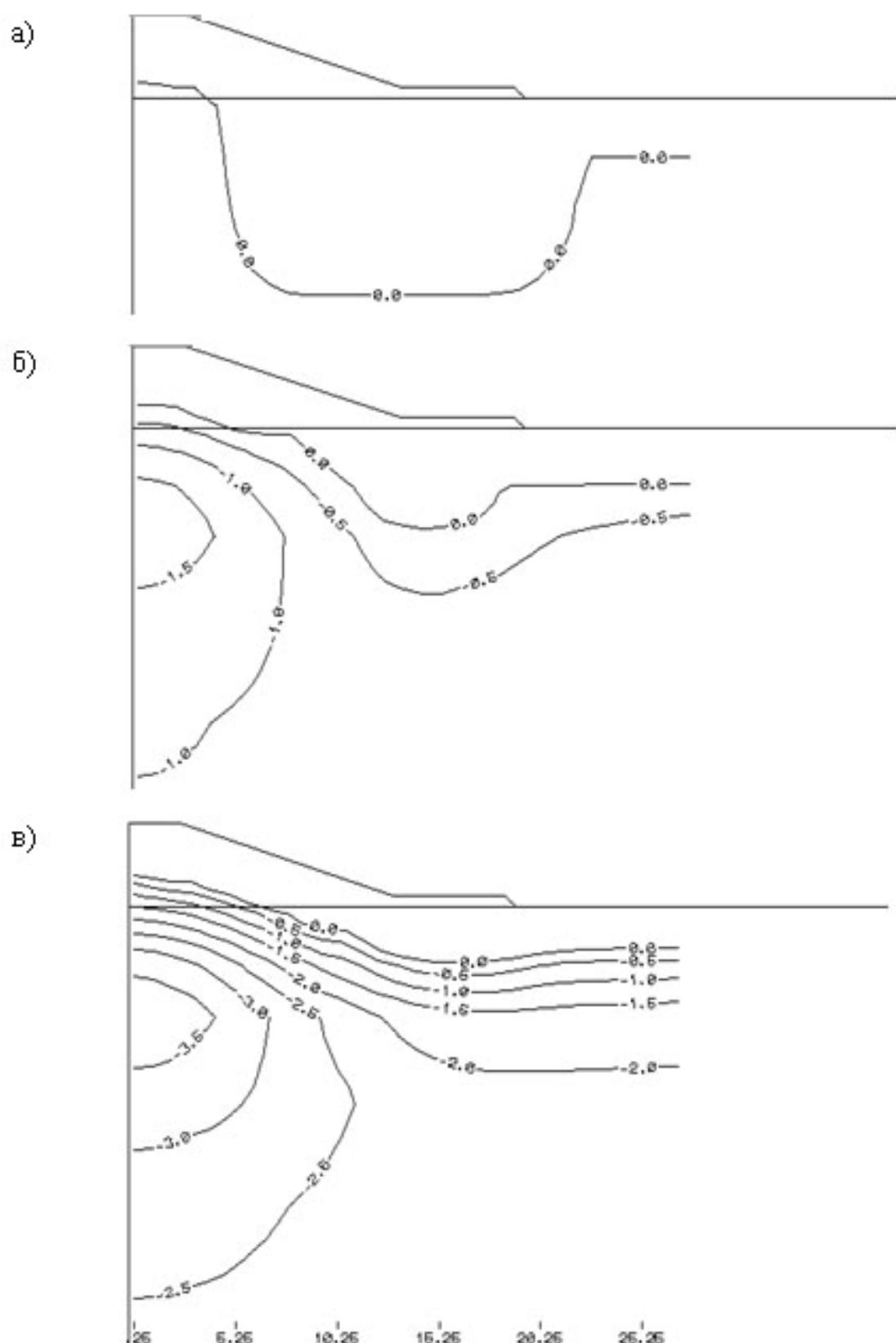


Рисунок 6.3 - Температурное поле в грунтах оснований насыпи высотой 4.0 м (схема III-2) на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме без учёта теплоизоляции: а, б, в - соответственно в районе г. Салехарда, пункта «N» и г. Оленёк. Основная площадка 5.0 м

Рисунок 6.4 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи высотой 4.0 м (схема III-2) на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для района г. Салехарда: а – без теплоизоляции, б – с теплоизоляцией. Основная площадка 5.0 м

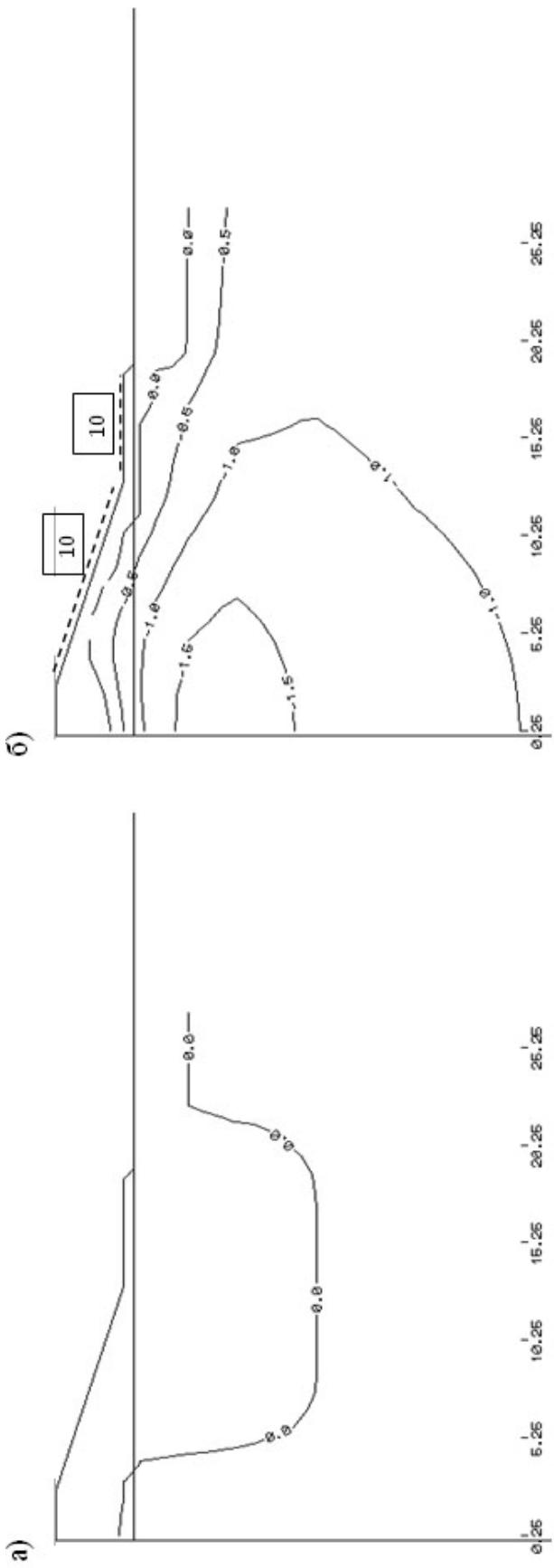


Рисунок 6.5 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи высотой 4.0 м (схема III-1) на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для района г. Салехарда: а – без теплоизоляции, б – с теплоизоляцией. Основная площадка 5.0 м

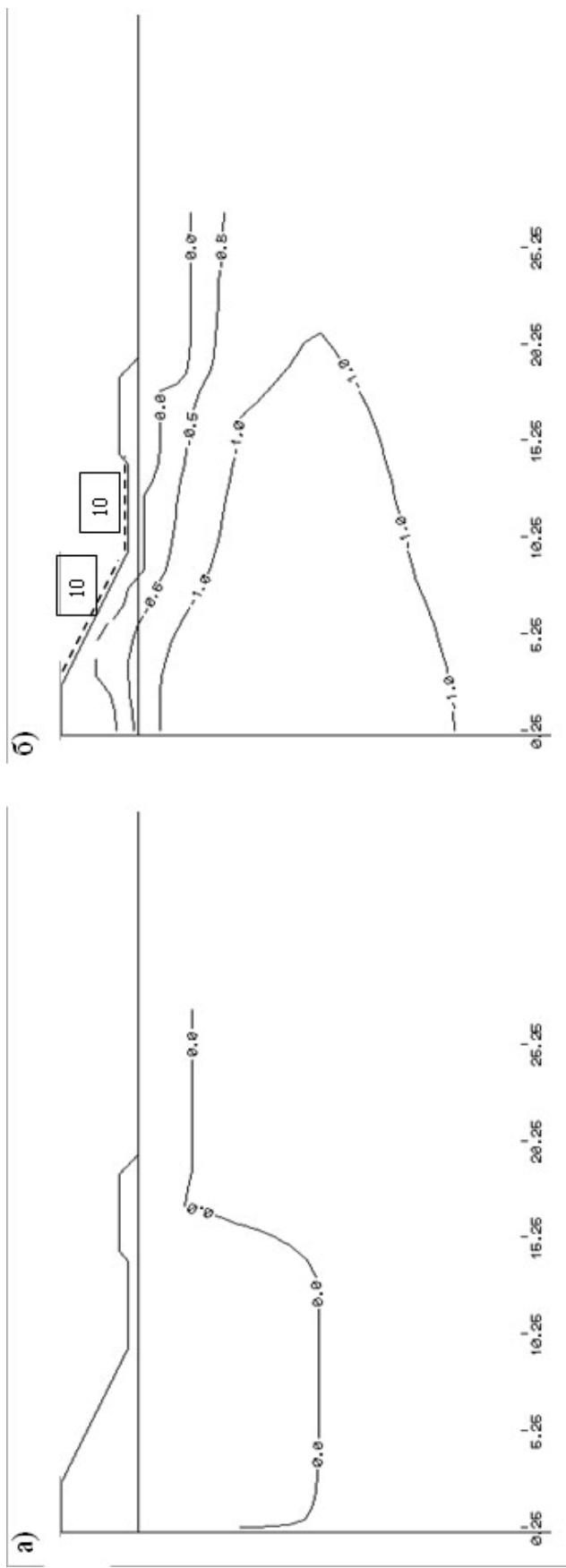
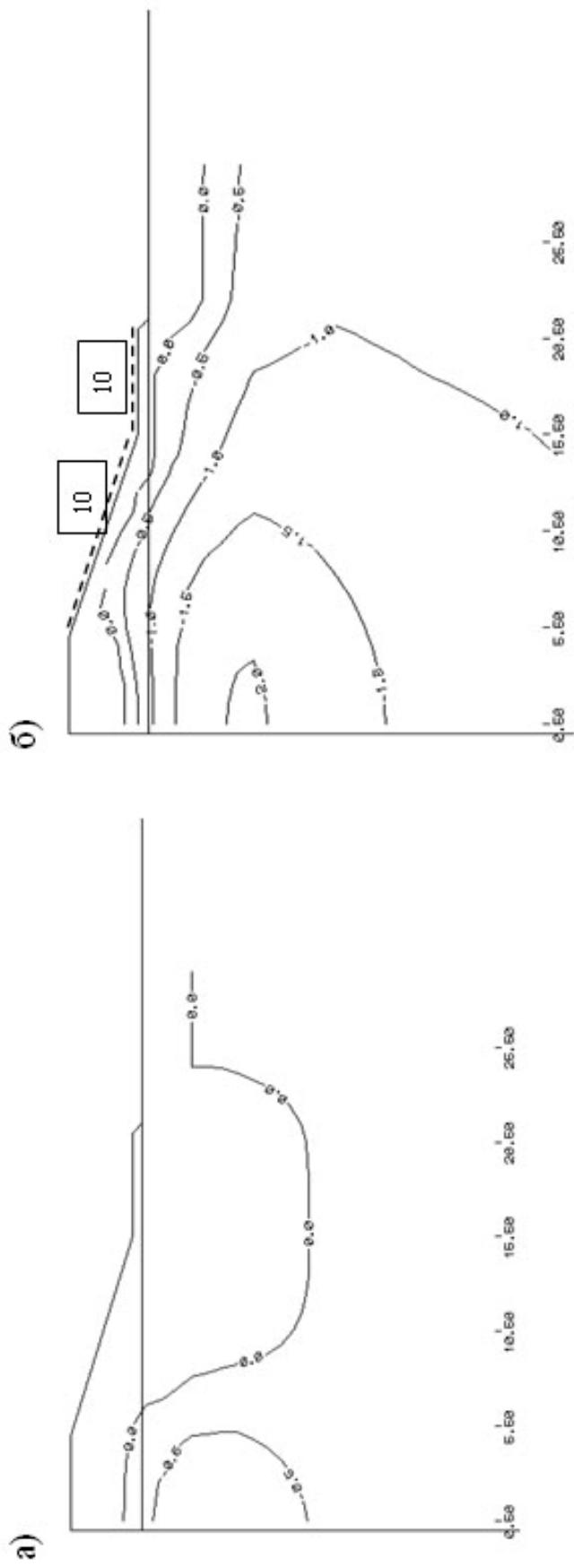


Рисунок 6.6 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи высотой 4.0 м (схема III-2а) на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для района г. Салехарда: а – без теплоизоляции, б – с теплоизолицей. Основная площадка 10.0 м



6.3. Насыпь высотой 2,0 м

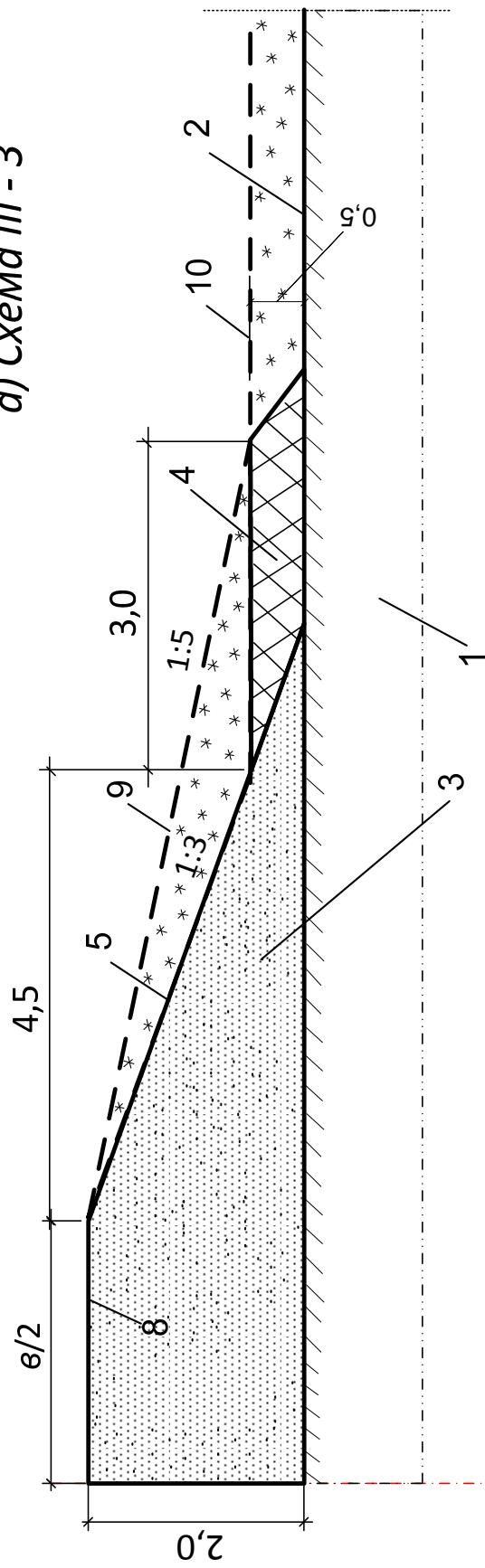
Для высоты насыпи 2,0 м рекомендуется два вида поперечных сечений: схемы Ш-3 и Ш-4 (рис. 6.7). Схема Ш-3 более простая в сооружении: она содержит откос 5 с одним уклоном 1:3. Схема Ш-4 более сложная, так как откос содержит два яруса по высоте с уклоном 1:4 и 1:2. Однако ее эффективность выше, так как на верхней части откоса снежные отложения уменьшенные по сравнению со схемой Ш-3. В обеих схемах тело 3 насыпи состоит из уплотненных грунтов, соответствующих нормативным требованиям. Берма 4 может быть выполнена из местных, неуплотненных грунтов, при этом она может быть частично расположена ниже естественной поверхности грунта. Ее основное назначение - разместить слой теплоизоляции.

Для температурных условий г. Оленек и пункта «N» замораживание грунтов оснований за счет дополнительных мероприятий не требуется: температура грунтов оснований в г. Оленек и пункта «N» в зоне насыпи понижается соответственно до минус 4,5°C и 2,5°C (рис. 6.8,б и в). В указанных зонах теплоизоляция толщиной 5 см может быть применена на основной площадке и верхней трети откоса для уменьшения глубины сезонного протаивания и, следовательно, снижения опасности пучения (при необходимости).

В зоне г. Салехарда грунты оснований находятся в пластичномёрзлом состоянии, поэтому требуют дополнительного понижения температуры (рис. 6.8,а).

Рекомендуемые схемы охлаждения приведены для зоны г. Салехарда на рис. 6.9, 6.10, 6.11.

a) Схема III - 3



a) Схема III - 4

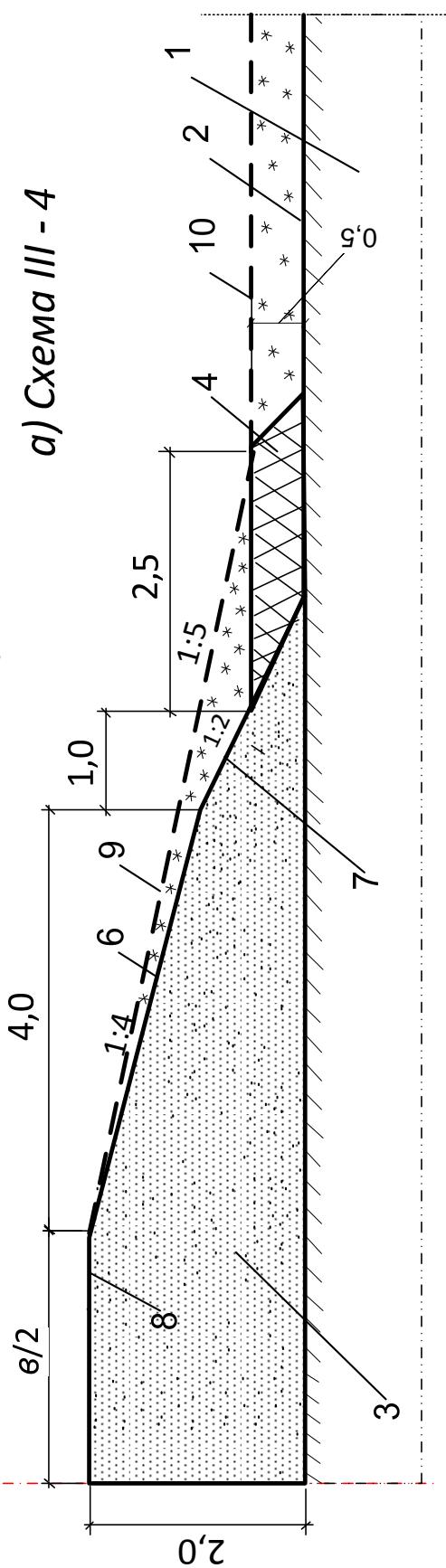


Рисунок 6.7 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 2.0 м для региона III: а, б –схемы III-3 и III-4, 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – откос насыпи, 6,7 – верхняя и нижняя части откоса насыпи, 8 – основная площадка насыпи, 9 – откос снежных отложений в пределах насыпи, 10 – поверхность снежных отложений в ненарушенной

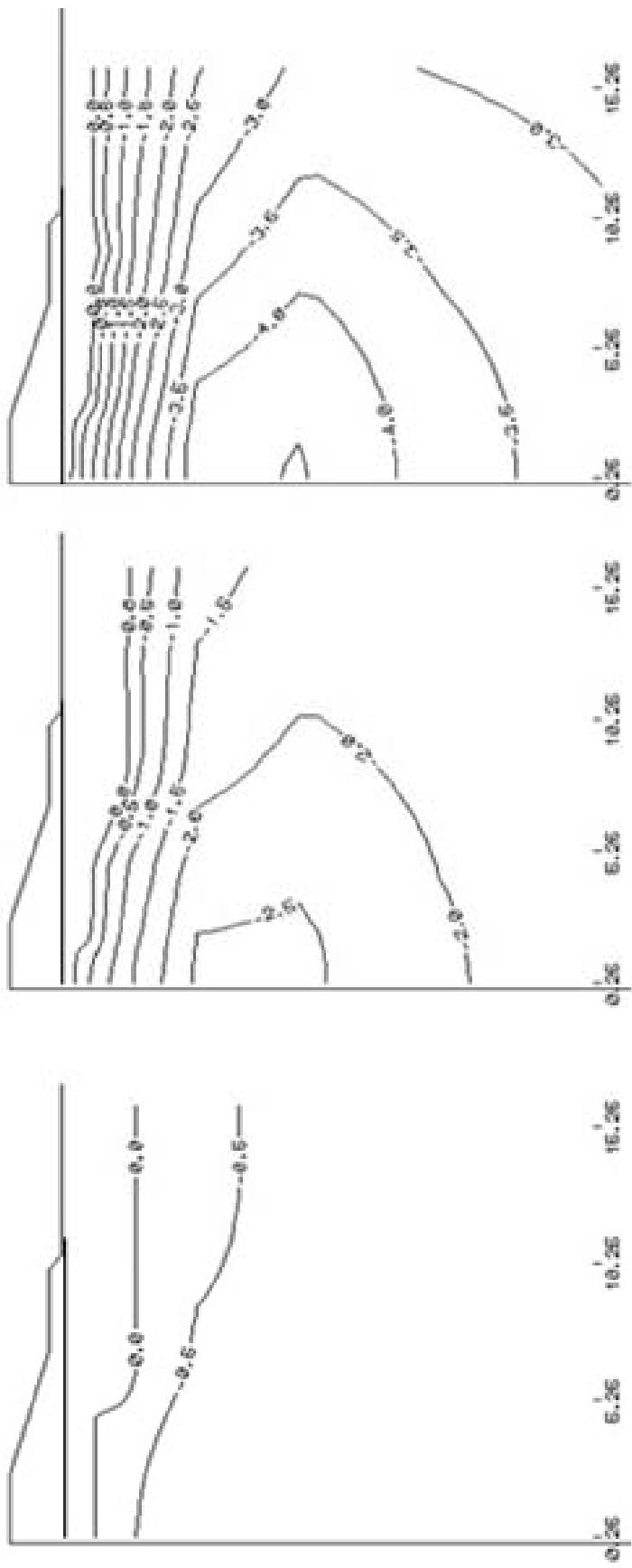


Рисунок 6.8 - Температурное поле в грунтах оснований насыпи высотой 2.0 м (схема III-3) на момент окончания тёплого периода года в установленном режиме: а, б, в - соответственно в районе г. Салехарда, пункта «N» и г. Оленёк. Основная площадка 5.0 м. Устройство теплоизоляции не произведено

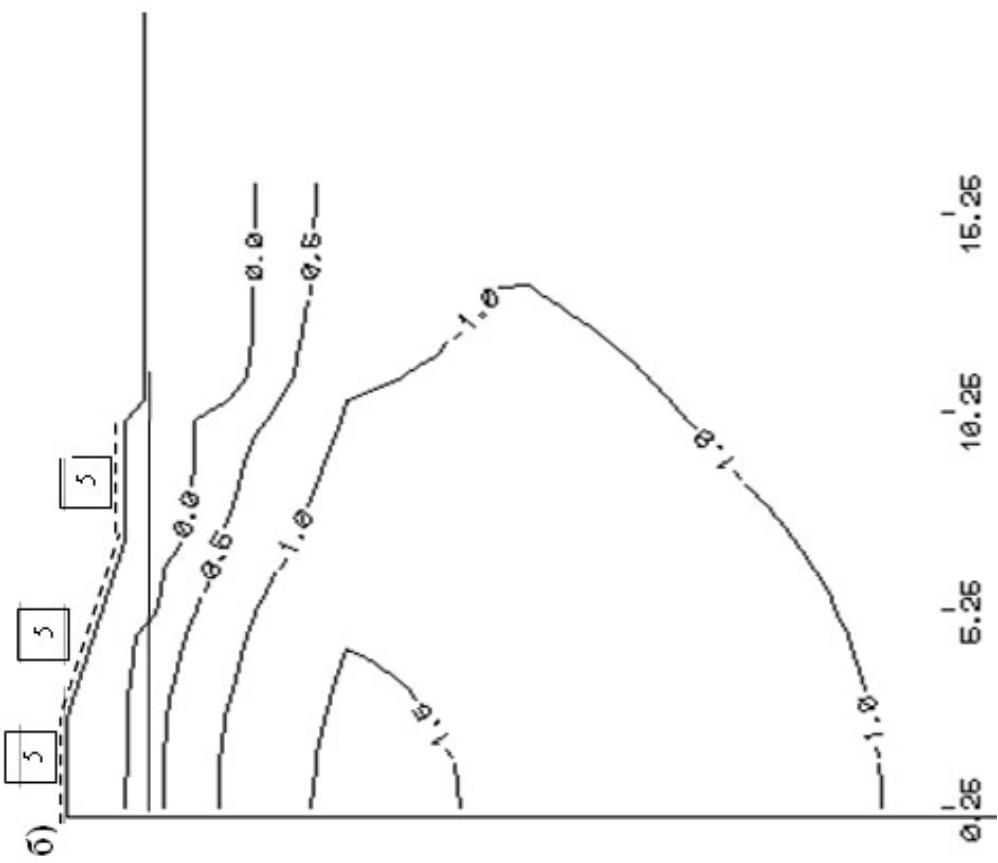
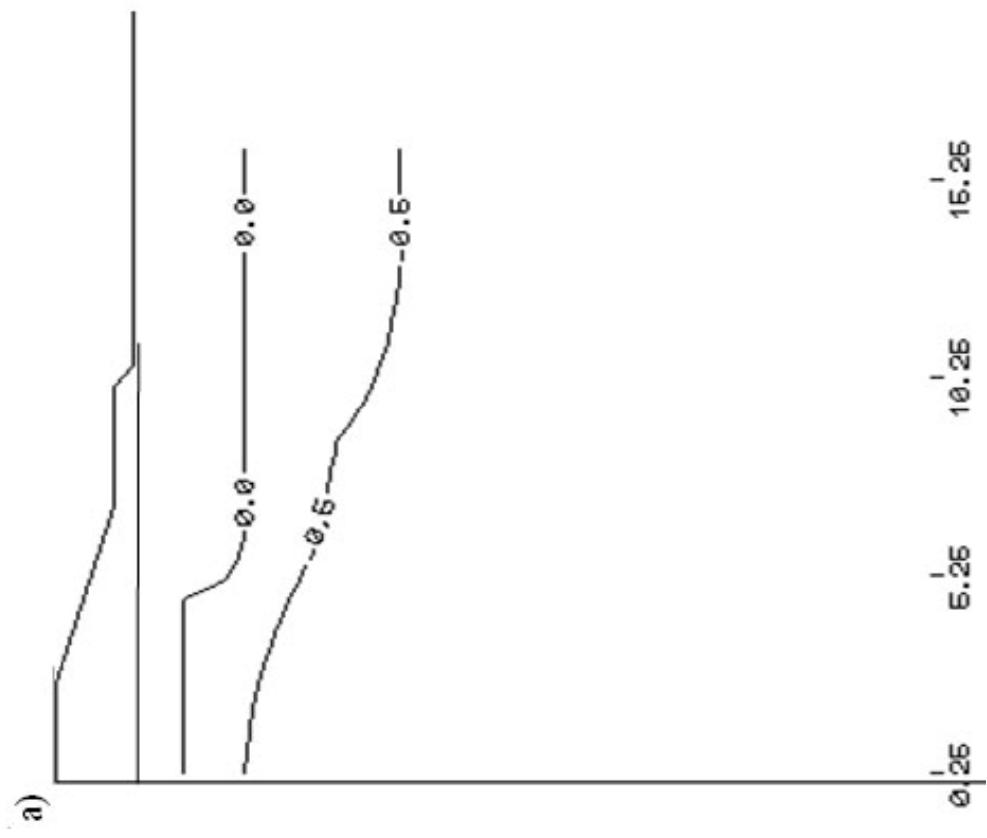


Рисунок 6.9 - Температурное поле в грунтах тела и оснований насыпи высотой 2.0 м (схема III-3) на момент окончания тёплого периода года в установленном режиме для района г. Салехарда: а – без теплоизоляции, б – с теплоизоляцией 5 см

Рисунок 6.10 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи высотой 2.0 м (схема III-4) на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для района г. Салехарда: а – без теплоизоляции, б – с теплоизоляцией 5.0 см. Основная площадка 5.0 м

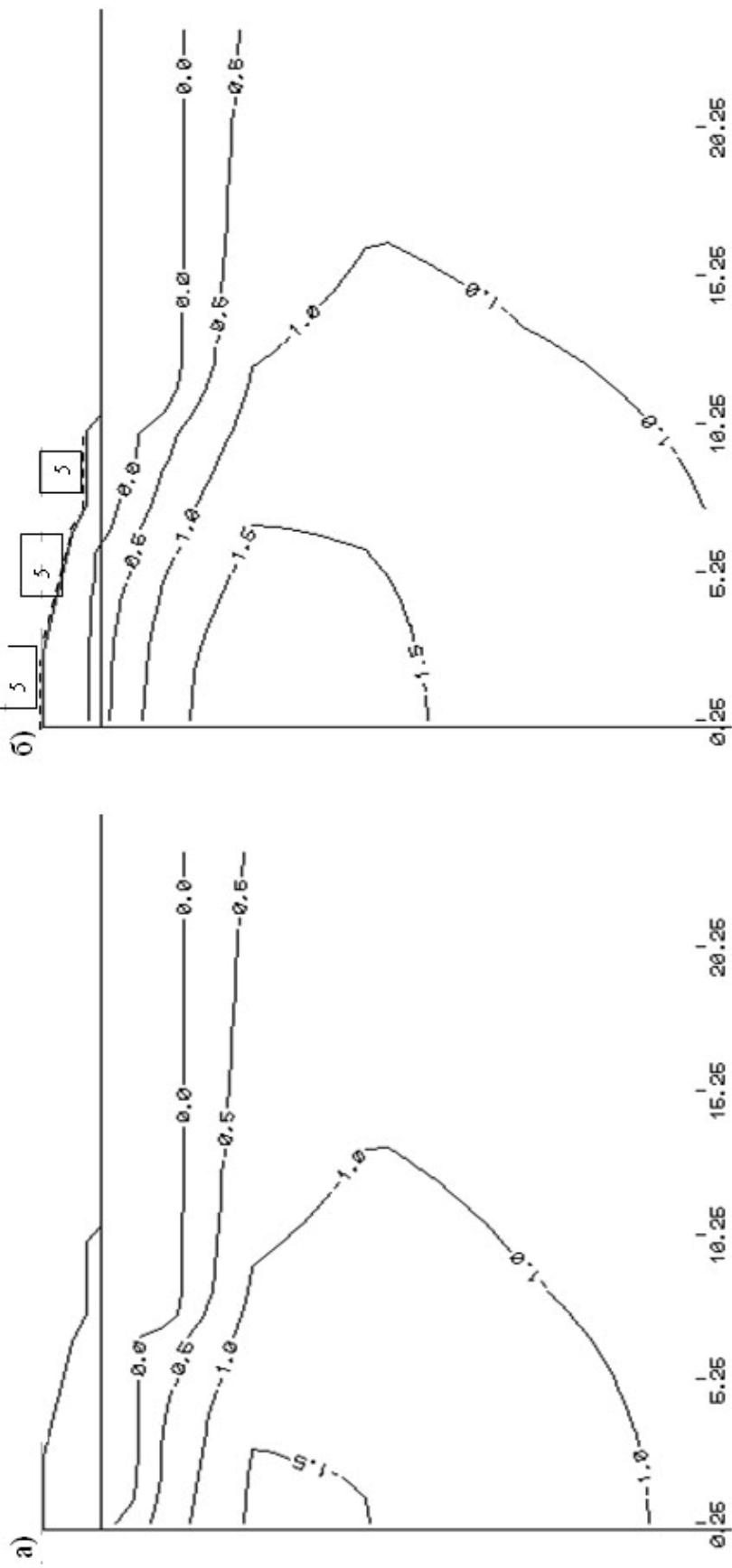
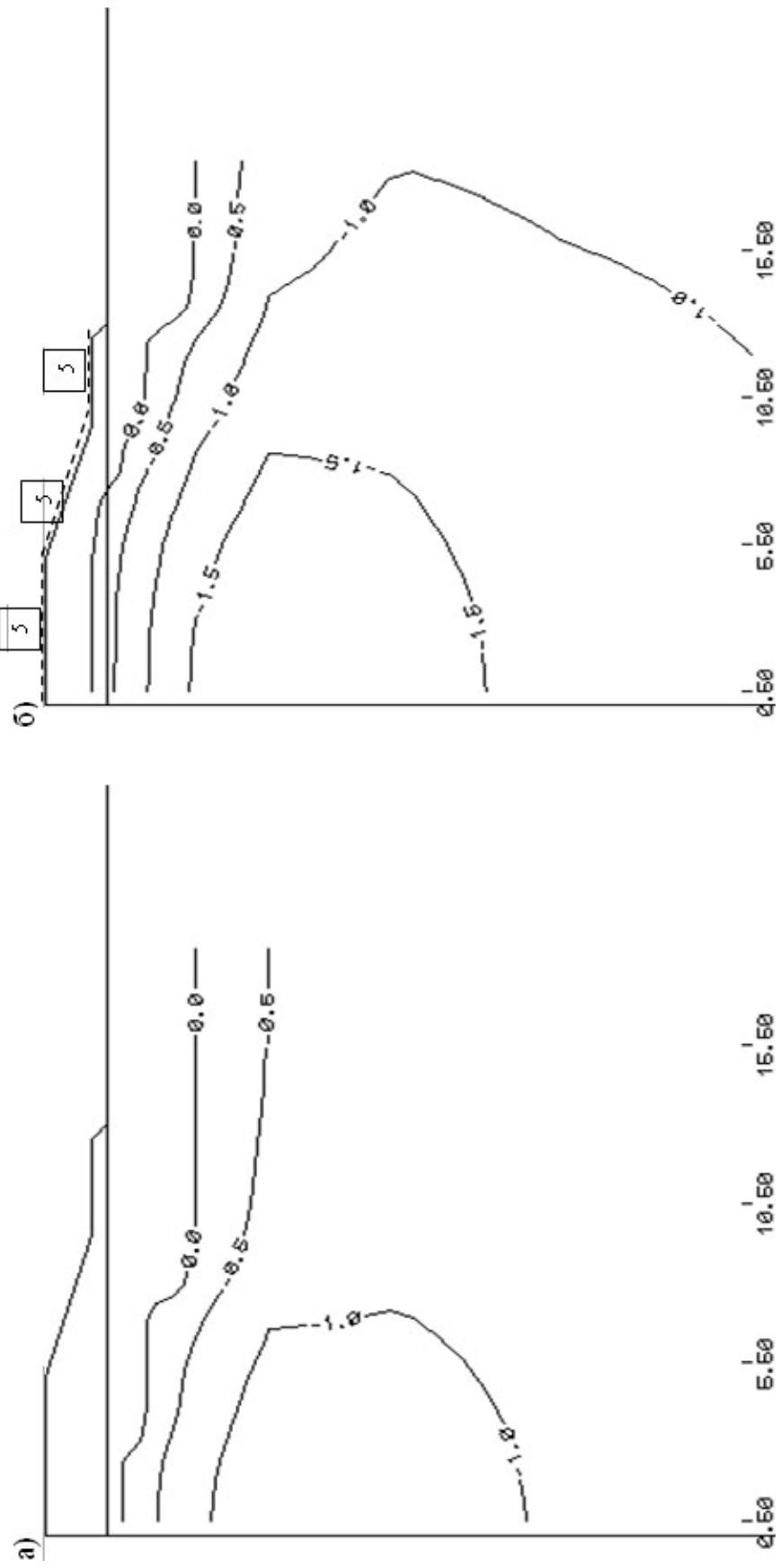


Рисунок 6.11 - Температурное поле в грунтах тела и оснований насыпи высотой 2.0 м (схема III-3а) на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для района г. Салехарда: а – без теплоизоляции, б – с теплоизолацией 5 см. Основная площадка 10 м



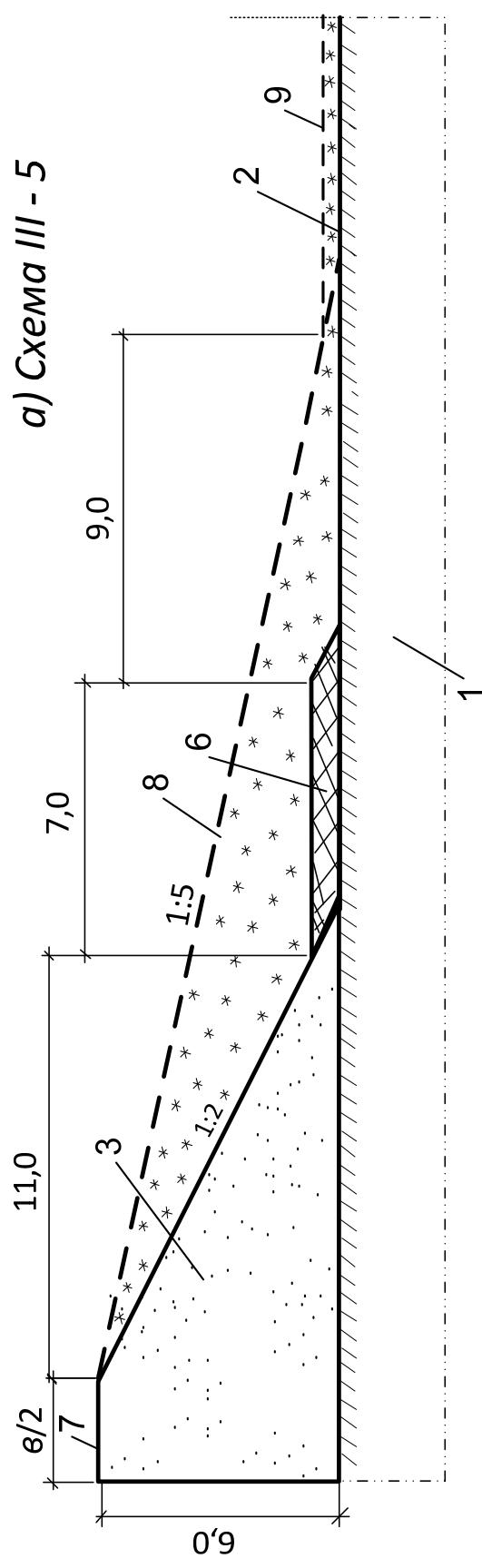
6.4. Насыпь высотой 6,0 м

Для высоты насыпи 6,0 м рекомендуется четыре вида поперечных сечений: схемы Ш-5 и Ш-6 (рис. 6.12), схемы Ш-7 и Ш-8 (рис. 6.13). Схема Ш-5 наиболее простая. Схема Ш-6 более сложная, поскольку содержит верхнюю боковую охлаждающую площадку 4, но эффективность этой схемы выше. Схемы Ш-7 и Ш-8 повторяют схемы Ш-5 и Ш-6, но содержат дополнительно нижнюю охлаждающую 10.

Для насыпи высотой 6,0 м необходимо принимать меры по охлаждению грунтов оснований для всех трех узловых пунктов региона III (рис. 6.14).

Для зоны г. Салехарда схему Ш-5 можно рекомендовать только при ширине основной площадки насыпи 10,0 м (рис. 6.15 и 6.16). При ширине основания площадки 5 м рекомендуется схема Ш-6 (рис. 6.17). При необходимости ликвидировать талую зону рядом с насыпью рекомендуется схемы Ш-7 и Ш-8 (рис. 6.18 и 6.19).

a) Схема III - 5



a) Схема III - 6

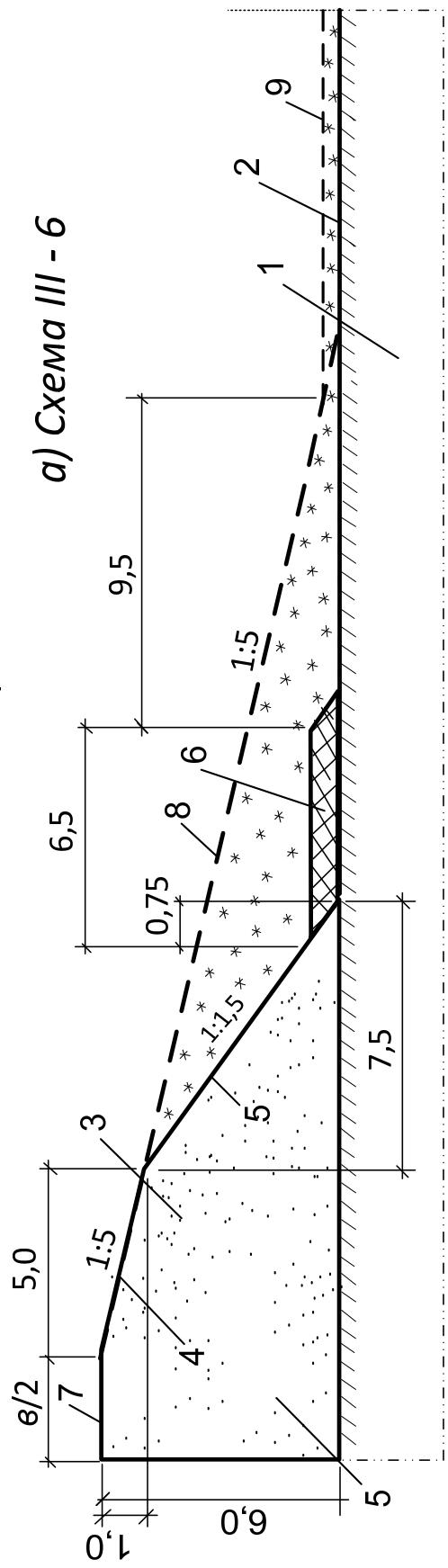
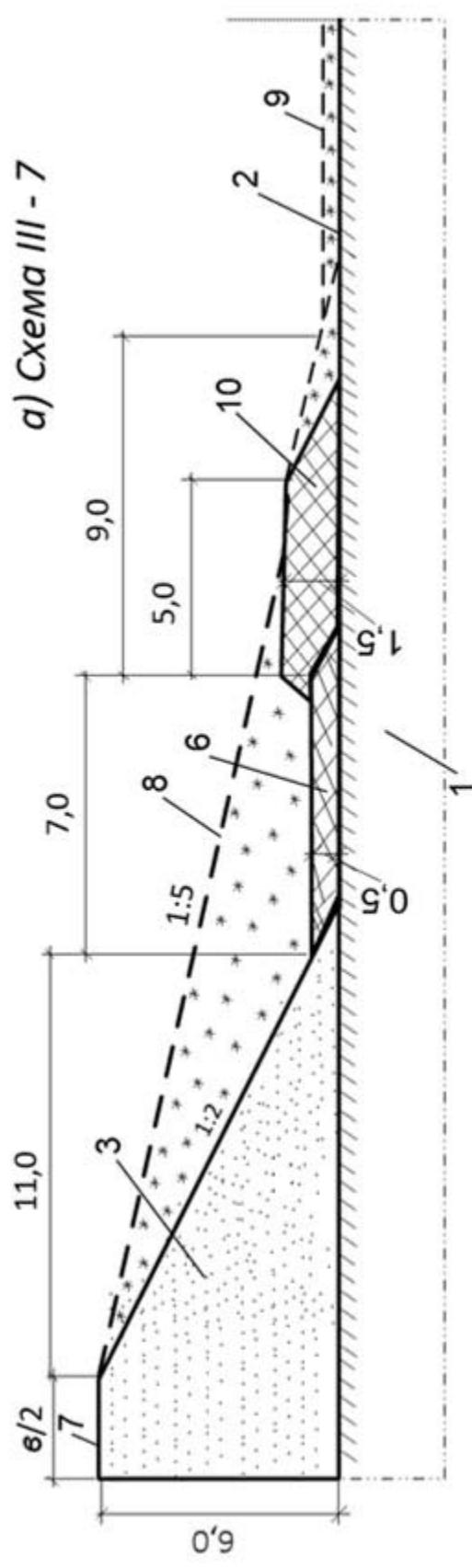


Рисунок 6.12 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 6 м для региона III: а, б – схемы III-5 и III-6, 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4, 5 – верхний и нижний ярусы тела насыпи, 6 – берма, 7 – основная площадка насыпи, 8 – поверхность снежных отложений, формируемая насыпью, 9 – поверхность насыпью в ненарушенной зоне

a) Схема III - 7



a) Схема III - 8

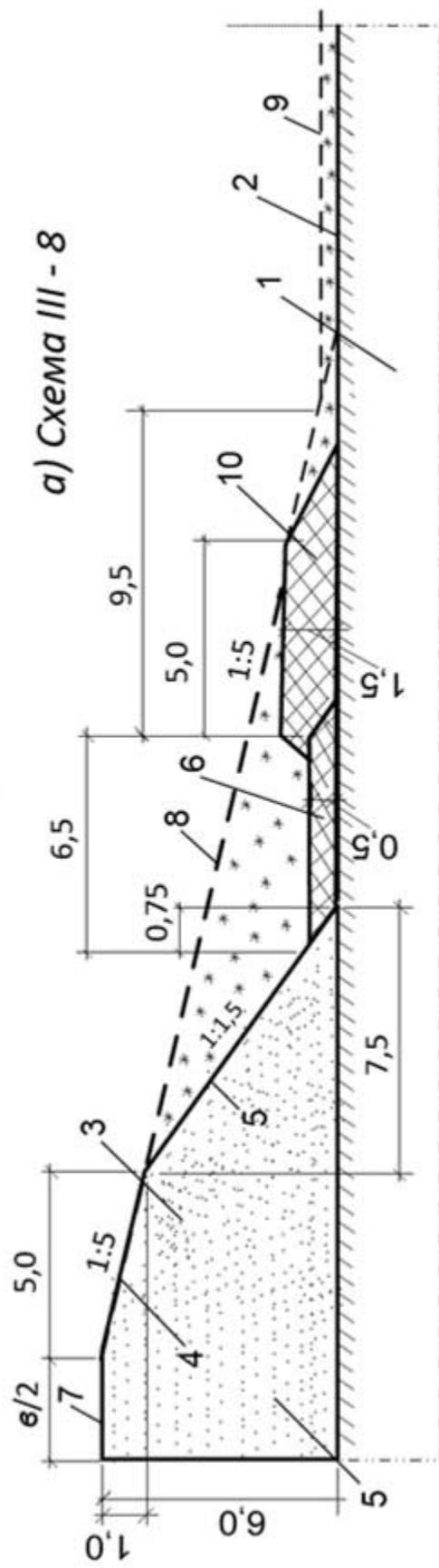


Рисунок 6.13 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 6 м для региона III: а, б – схемы III-7 и III-8, 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4, 5 – верхний и нижний ярусы тела насыпи, 6 – берма, 7 – основная площадка насыпи, 8 – поверхность снежных отложений, формируемая насыпью, 9 – поверхность снежных отложений в ненарушенной зоне, 10 – нижняя боковая охлаждающая площадка

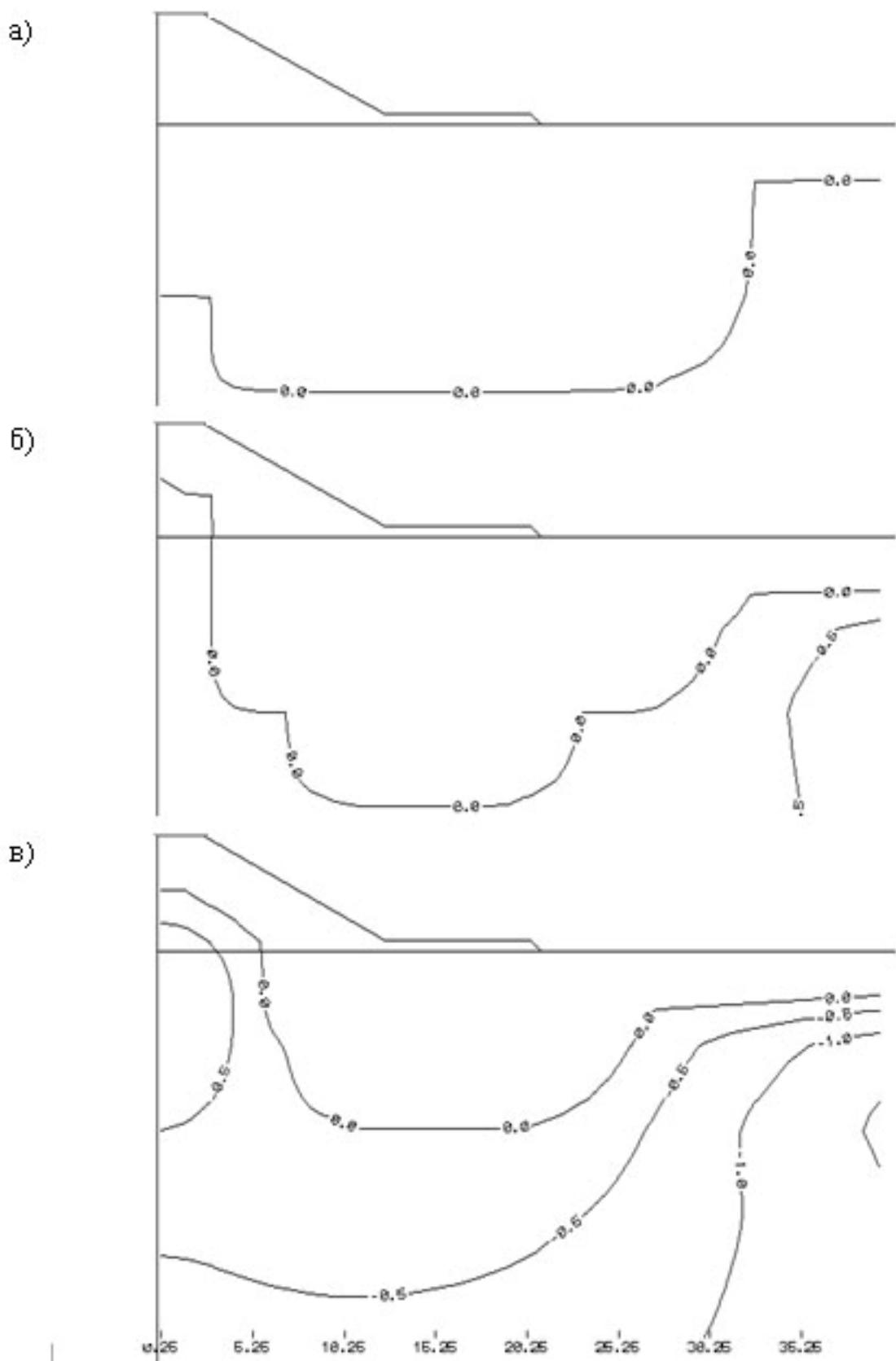


Рисунок 6.14 - Температурное поле в грунтах оснований насыпи высотой 6.0 м (схема III-5) на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме без учёта теплоизоляции: а, б, в - соответственно в районе г. Салехарда, пункта «N» и г. Оленёк. Основная площадка 5.0 м

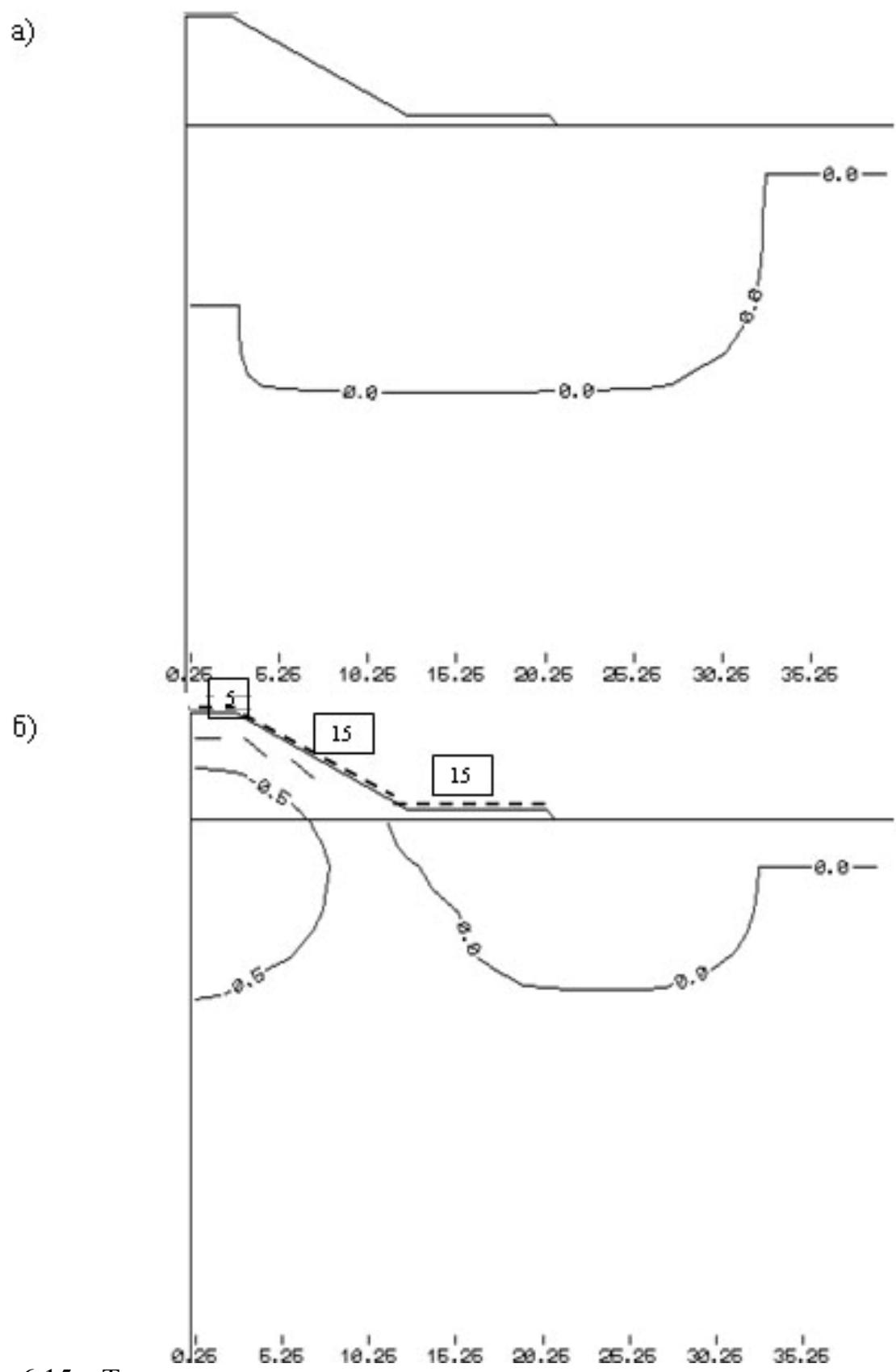


Рисунок 6.15 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи высотой 6.0 м (схема III-5) на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для района Салехарда: а - без теплоизоляции; б - с теплоизоляцией. Основная площадка 5.0 м

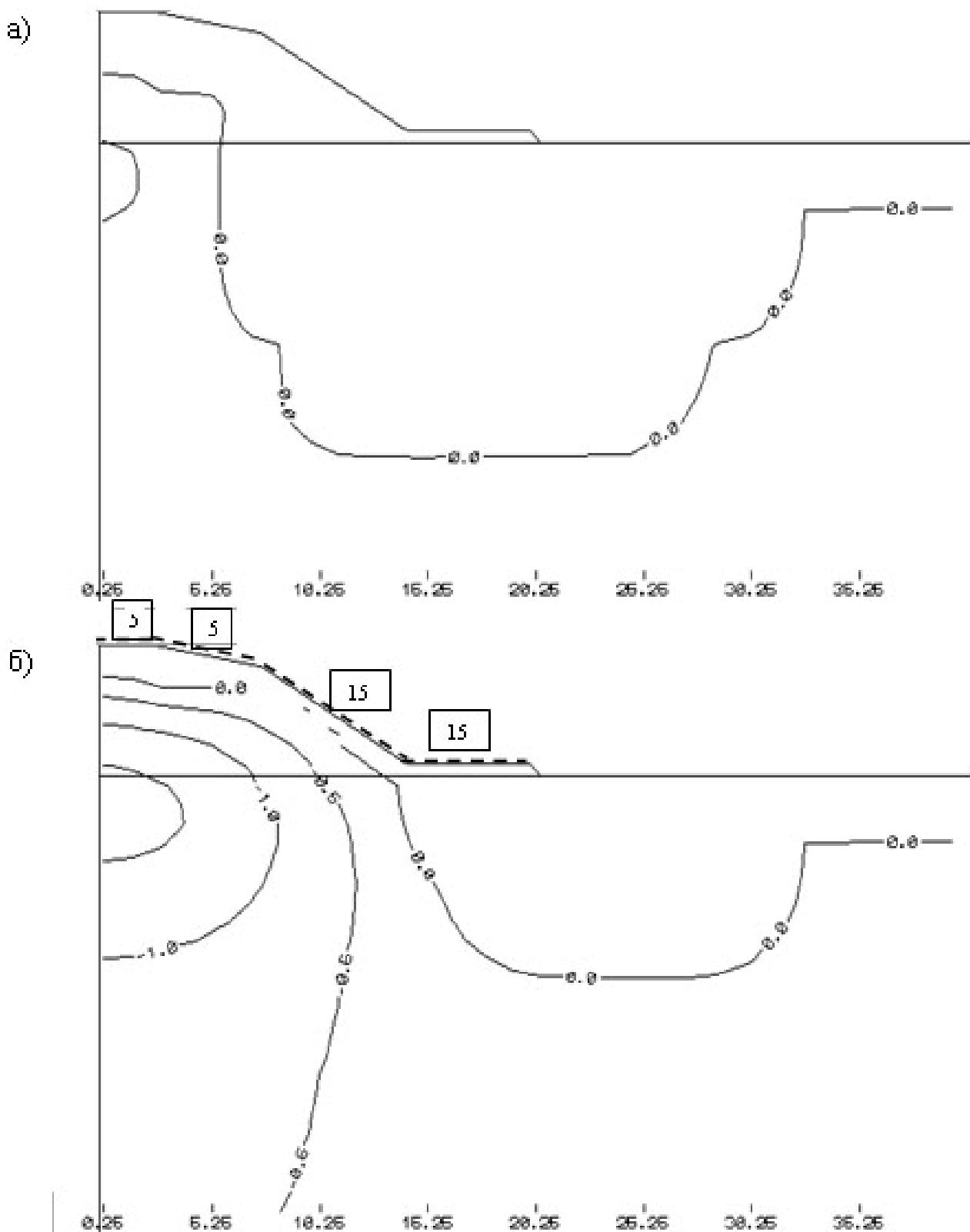


Рисунок 6.16 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи высотой 6.0 м (схема III-6) на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для района Салехарда: а - без теплоизоляции; б - с теплоизоляцией. Основная площадка 5.0 м

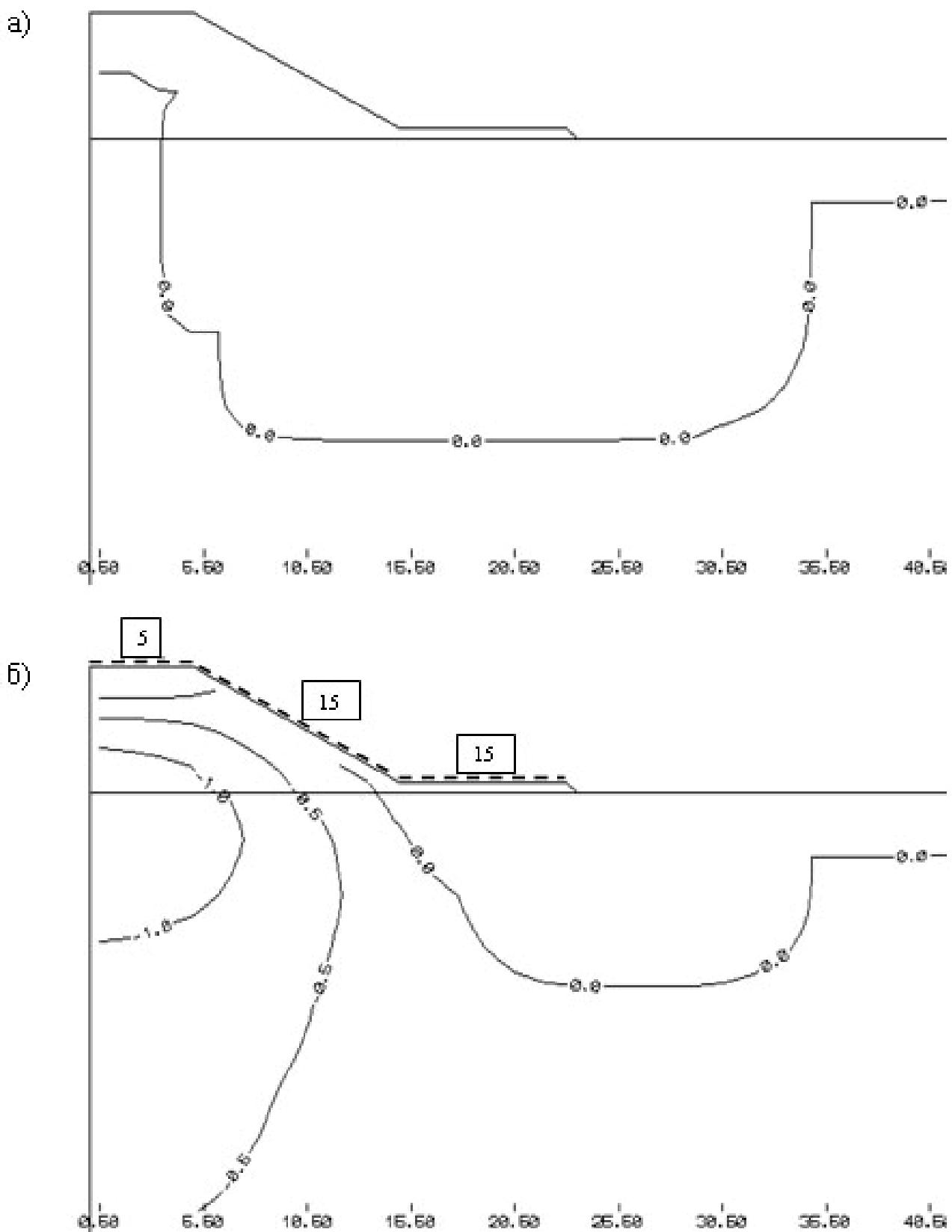


Рисунок 6.17 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи высотой 6.0 м (схема III-5а) на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для района г. Салехарда: а - без теплоизоляции; б - с теплоизоляцией. Основная площадка 10.0 м

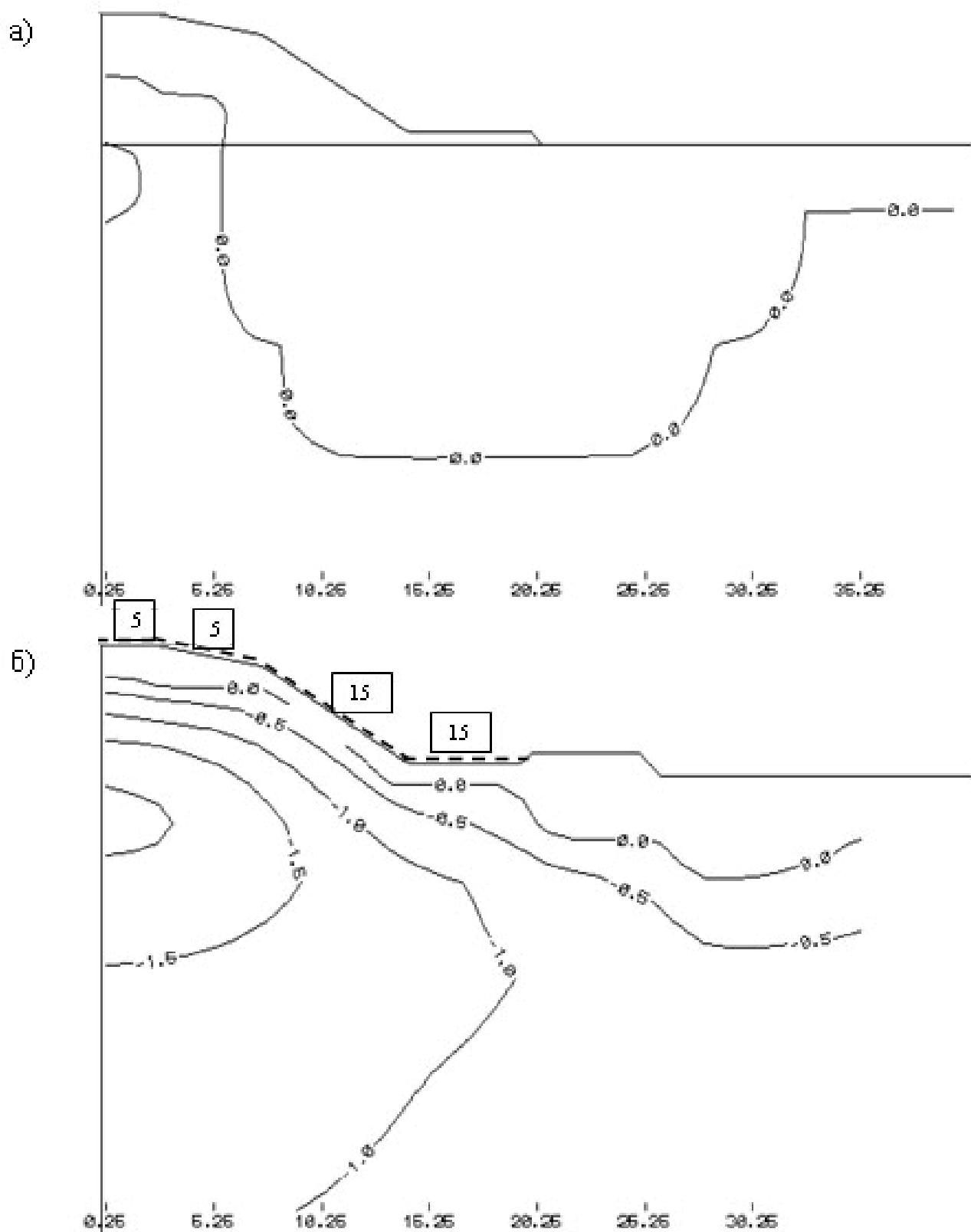


Рисунок 6.18 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи высотой 6.0 м на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для района Салехарда: а - без теплоизоляции (схема III-6); б - с теплоизоляцией (схема III-8). Основная площадка 5.0 м

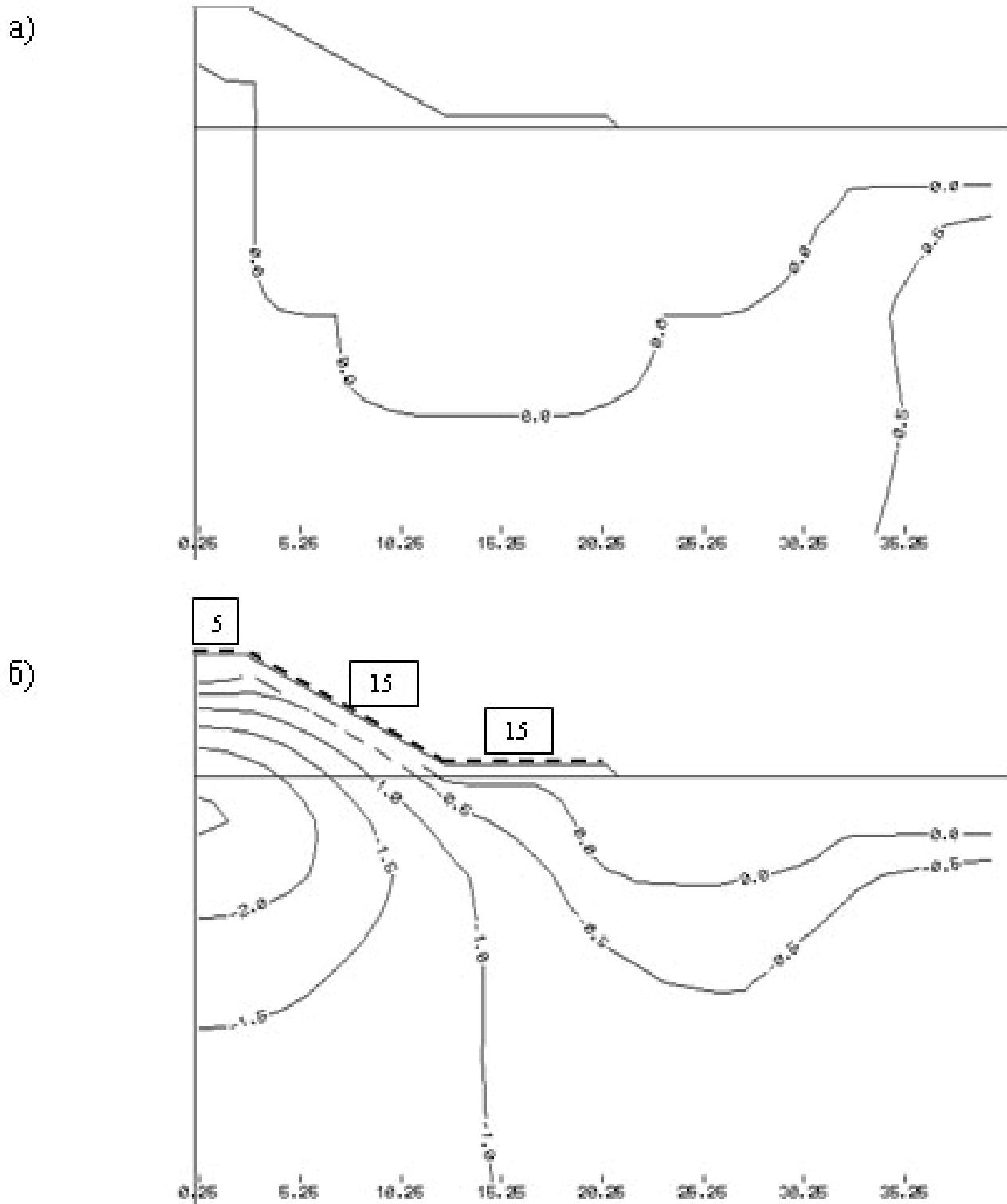


Рисунок 6.19 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи высотой 6.0 м (схема III-5) на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для пункта «N»: а - без теплоизоляции; б - с теплоизоляцией. Основная площадка 5.0 м

7. ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В РЕГИОНЕ V

7.1. Общие положения

Регион V в отличие от региона III характеризуется отсутствием снегопереноса, поэтому снегоотложение формируется в соответствии с рис. 7.2,а. В связи с этим откосы в этом регионе устраиваются крутыми, в большинстве случаев 1:1,5. Охлаждающей зоной интенсивного действия является не вся основная площадка, как в регионе III, а только проезжая часть, где снег расчищается. В данном регионе не заносятся снегом вертикальные поверхности, поэтому хорошей охлаждающей конструкцией является, например, стенка из габионов (рис. 7.2,б).

При поиске рациональных конструктивных решений насыпи, необходимости и мощности теплоизоляции были проведены расчёты с учётом толщины снежных отложений в различных зонах поперечного сечения насыпи в соответствии с рис. 7.1. Методика этого учёта сформулирована в разделе 6.1.1 главы 6.

Для региона V в 2010 г. Лабораторией совместно с ОАО Трансдорпроект был разработан отдельный нормативно- рекомендательный документ «Методические рекомендации по применению конструктивных мероприятий для сохранения вечномерзлых грунтов в основаниях земляного полотна и искусственных сооружений на автомобильных дорогах Центральной Якутии» [7]. Эта работа характеризует целый комплекс вопросов, связанных с изысканиями, проектированием и строительством дорог на вечной мерзлоте. В ней даны рекомендации по подготовке исходных данных, расчетам, учёту глобального потепления и т.п. Этот документ рекомендуется использовать в сочетании с материалами данной главы, а также по ряду вопросов и для других глав.

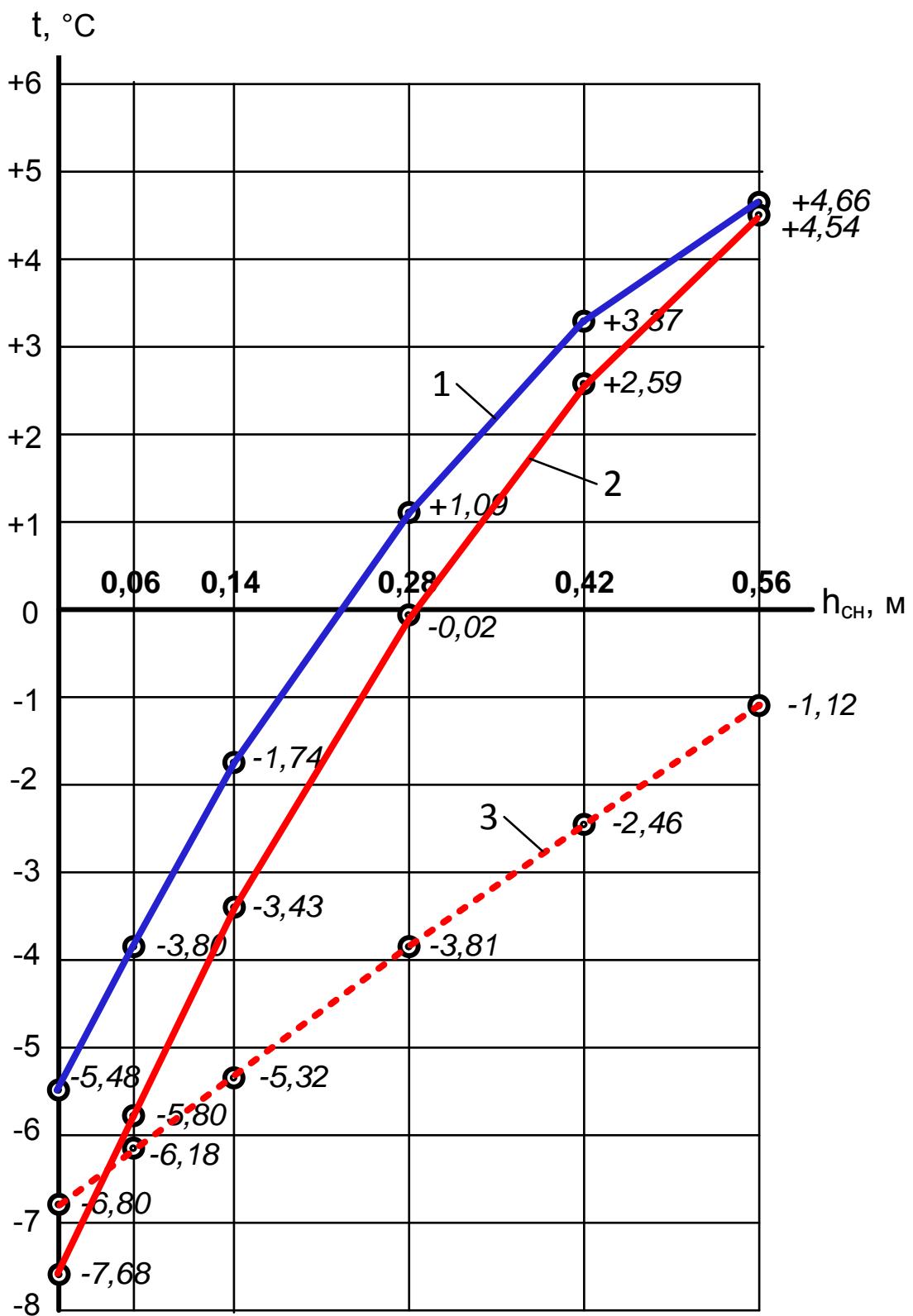


Рисунок 7.1 - Зависимость температуры « t » грунта на глубине нулевых амплитуд от толщины « h_{ch} » снежного покрова для региона V: 1 – для г. Мирный, 2 – для Якутска, 3 – для Якутска при наличии пенополистирола 10 см

7.2. Насыпь высотой 4.0 м

Для высоты насыпи 4.0 м рекомендуется два вида поперечных сечений: схема V-1 и V-2 (рис. 7.2). При ширине основной площадки насыпи не 5,0 м, а 10,0 м схемы приобретают нумерацию соответственно V-1,а и V-2,а. Схема V-1 - это широко распространённое в практике техническое решение, применяемое в данном регионе. Схема V-2 содержит дополнительный элемент – единую жёсткую охлаждающую конструкцию (рис. 7.2,б). Он выполнен из габионов фирмы ТР Инжиниринг [29]. Эта система позволяет формировать единые жёсткие системы на винтовых соединениях (срок службы – более 100 лет). Идея применения схемы V-2 заключается в формировании вертикальной поверхности стенкой 7. Вертикальная поверхность в данном регионе оголена от снега, что обеспечивает её охлаждающий эффект.

Результаты расчёта температурного режима до установившегося состояния без применения мероприятий по охлаждению представлены для Якутска и для Мирного на рис. 7.3 и 7.4. В схеме V-1 в зоне Якутска в основании формируется зона пластично-мёрзлых грунтов, а в зоне Мирного – глубокий талик. Схема V-2 работает более эффективно, но без применения мероприятий в ней формируется область с твёрдомёрзлыми грунтами только в Якутске (рис. 7.3,б). Однако формируется большая толщина сезонно талых грунтов со стороны поверхности. Поэтому в зоне основания 8 (рис. 7.2,б) целесообразно уложить теплоизоляцию. На рис. 7.5 и 7.6 приведены различные варианты устройства теплоизоляции в зоне основания 8.

Для схемы V-1 и схемы V-2 для Мирного рекомендуется укладка теплоизоляции на откосе.

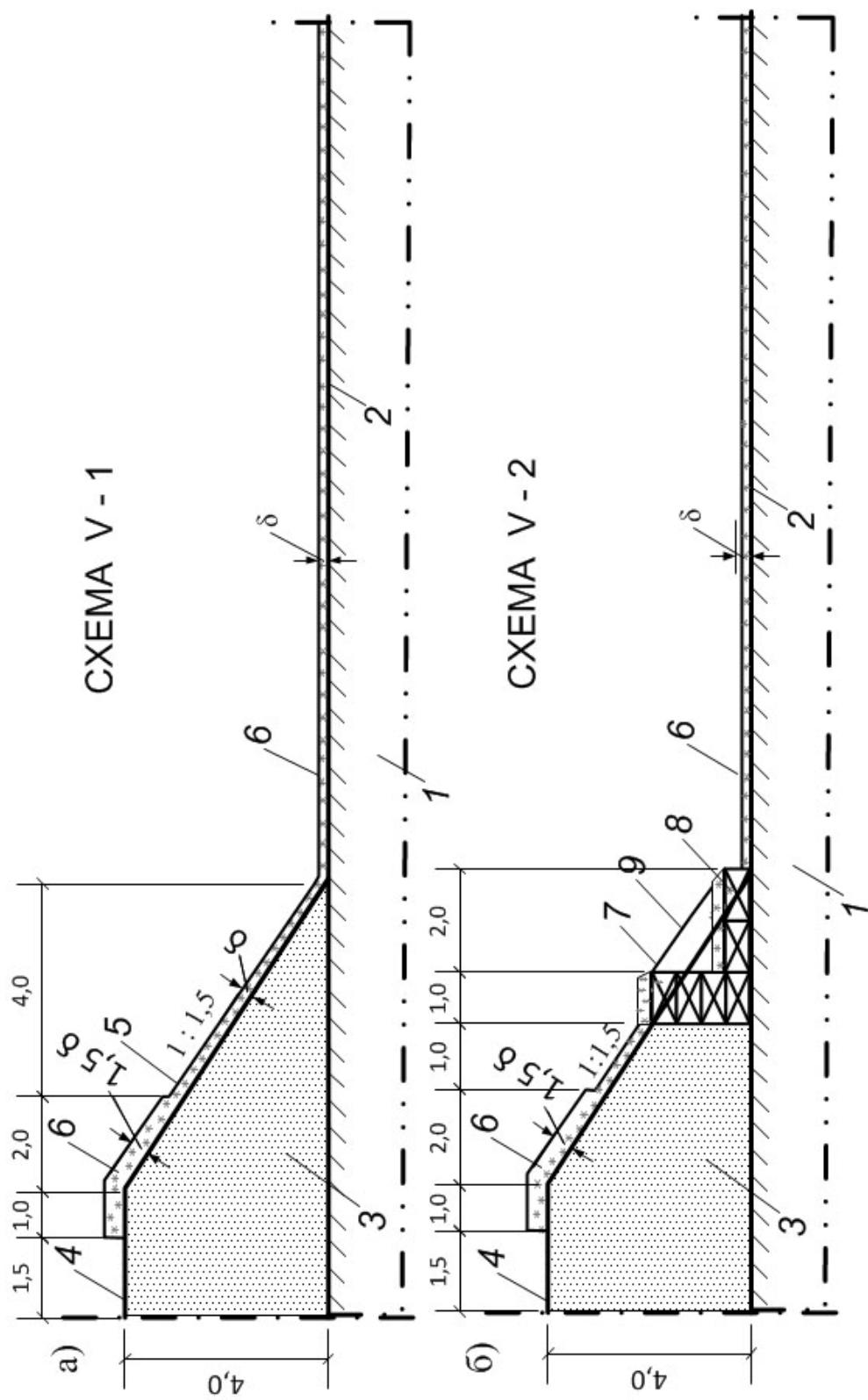
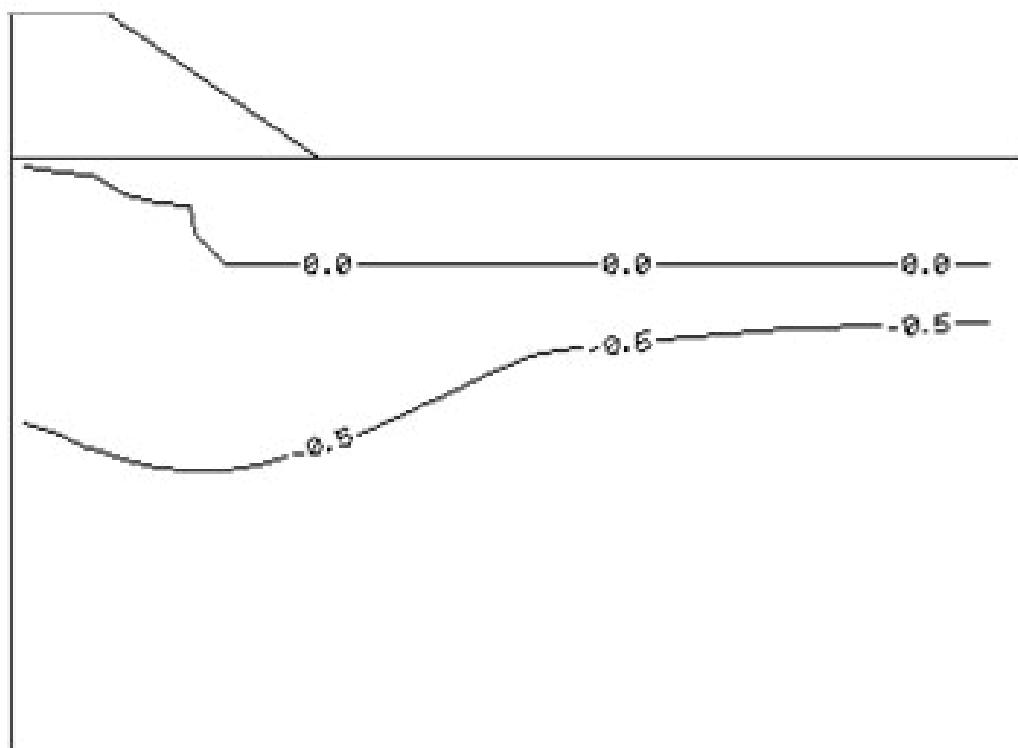


Рисунок 7.2 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 4,0 м для региона V: а, б - схемы V-1 и V-2; 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – основная площадка насыпи, 5 – откос насыпи, 6 – поверхность снежных отложений, 7, 8, 9 – соответственно стенка, основание и ребро жёсткости единой жёсткой охлаждающей конструкции

а)



б)

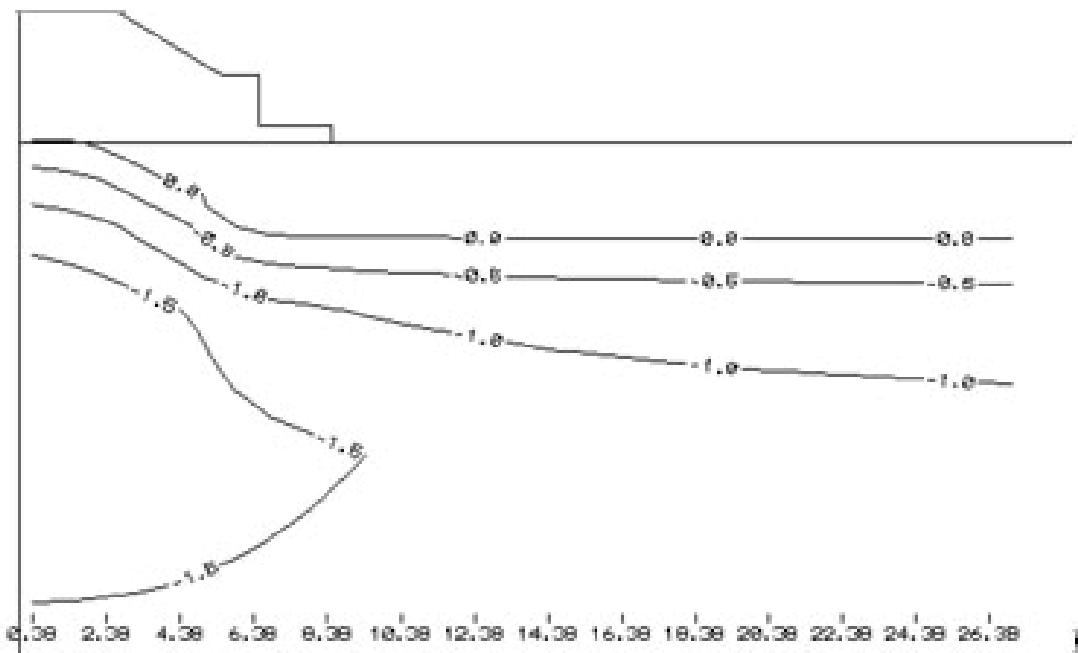


Рисунок 7.3 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи высотой 4.0 м на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для района Якутска: а – схема V-1; б - схема V-2

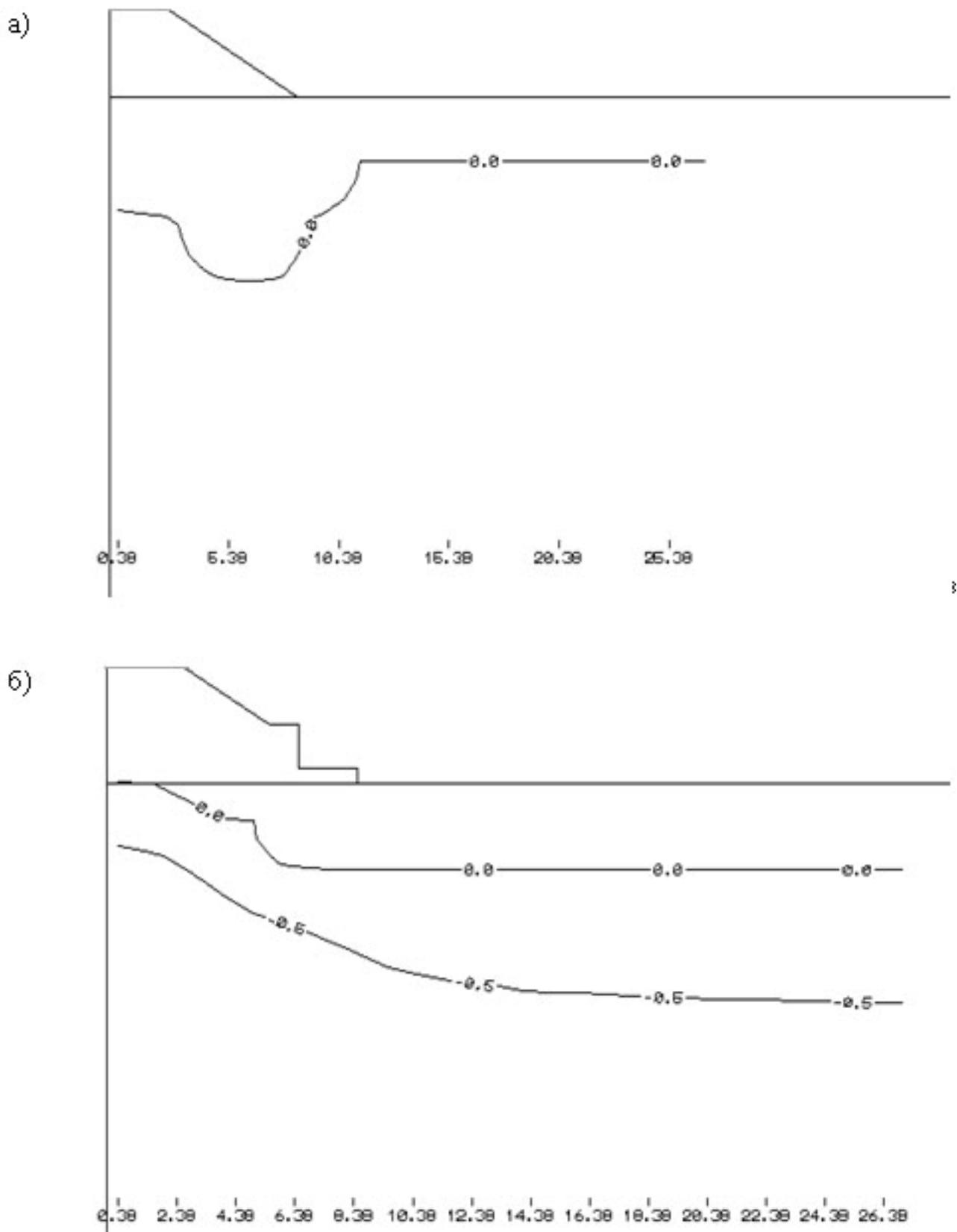


Рисунок 7.4 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи высотой 4.0 м на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для района Мирного: а – схема V-1; б - схема V-2

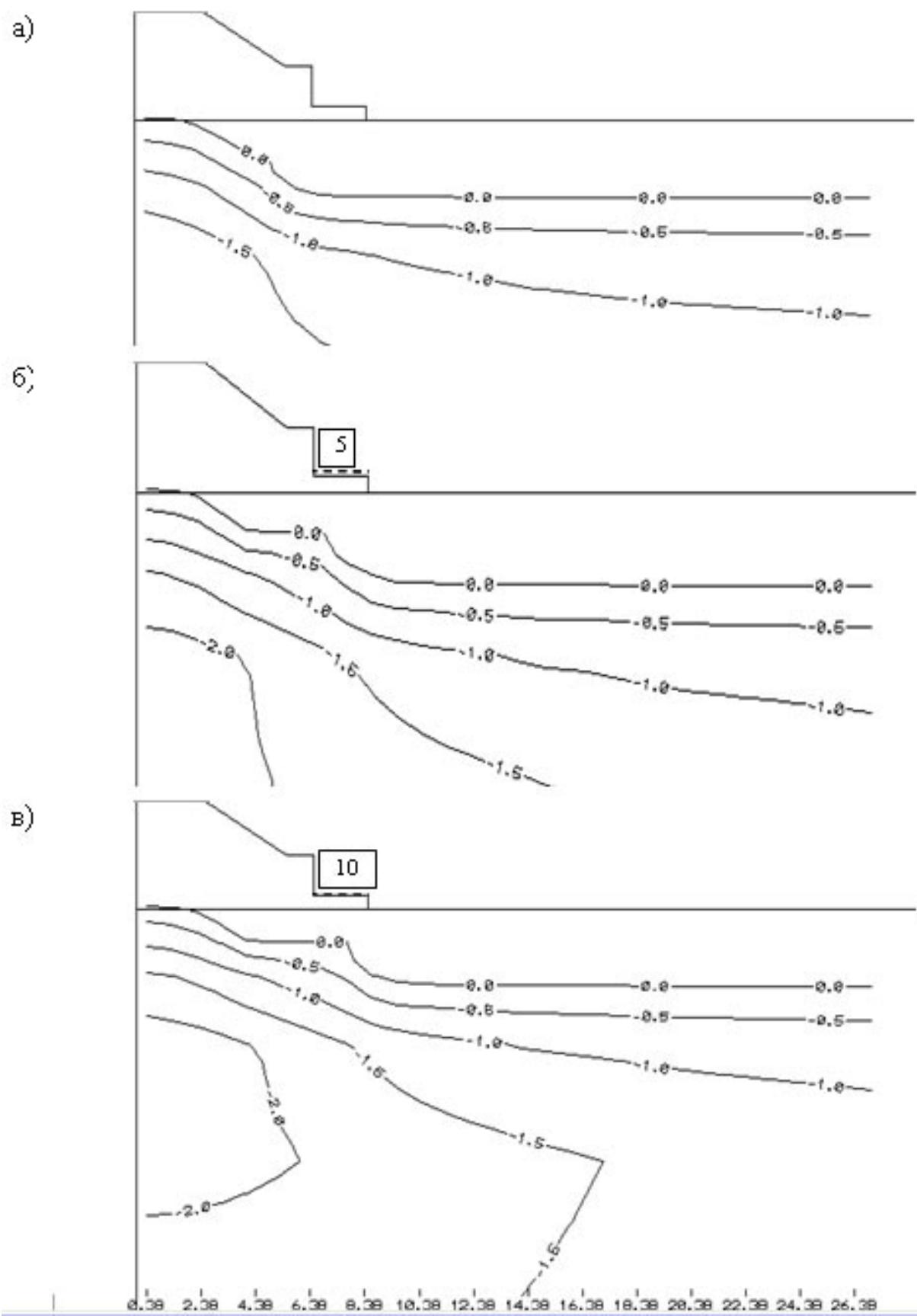
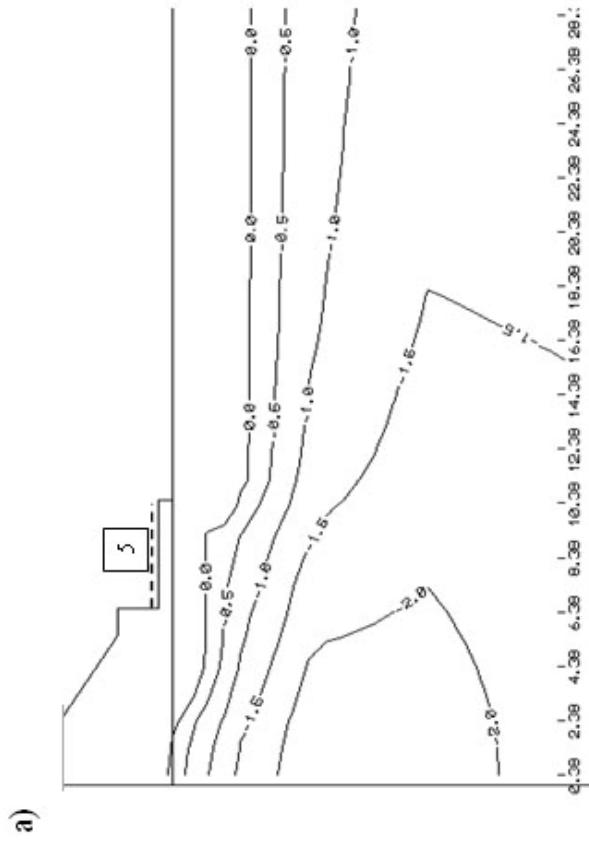
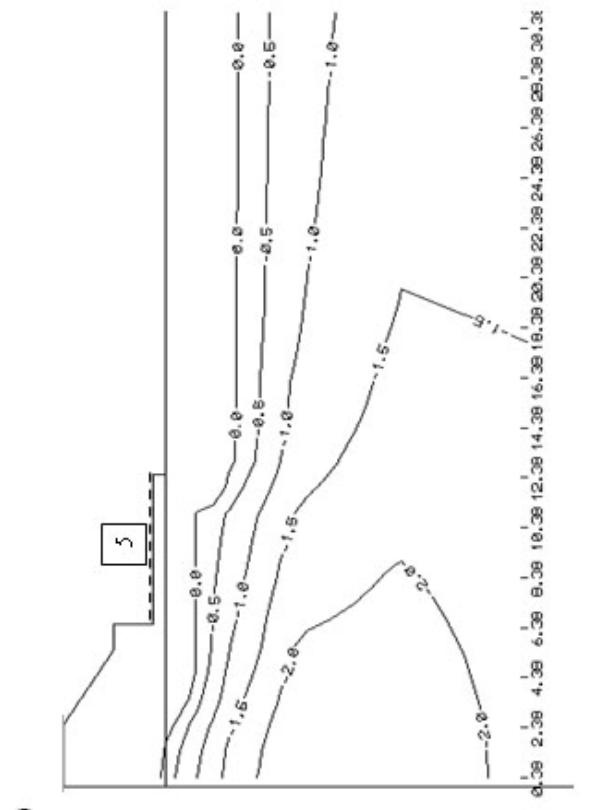


Рисунок 7.5 – Сопоставление для случаев устройства теплоизоляции мощностью 0.0 см (а), 5.0 см (б) и 10.0 см (в) в берме температурных полей на момент окончания тёплого периода года в установившемся состоянии. Схема В-2. Насыпь высотой 4.0 м, берма 2.0 м. Якутск



a)



b)

Рисунок 7.6 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установленвшемся режиме Схема V-2. Насыпь высотой 4.0 м. Теплоизоляция 5 см в берме. Ширина бермы: а – 4.0 м, б – 6.0 м. Якутск

7.3. Насыпь высотой 2.0 м

Для высоты насыпи 2.0 м рекомендуется два вида поперечных сечений: схема V-3 и V-4 (рис. 7.8). Схема V-3 повторяет сущность схемы V-1 (только другая высота насыпи). Схема V-4 предполагает выполнение насыпи из габионов. Идея заложена следующая. В рассматриваемом регионе формируется большая глубина сезонного протаивания, превышающая высоту малой насыпи. В результате имеют место существенные просадки насыпей малой высоты. Применение габионов-диодов снижает глубину протаивания и увеличивает степень охлаждения грунтов основания.

Результаты расчёта температурного режима до установившегося состояния без применения мероприятий по охлаждению представлены для Якутска и Мирного на рис. 7.9 и 7.10. Из этих рисунков видно, что схема V-4 работает гораздо более эффективно, чем схема V-3.

Для понижения температуры грунтов оснований и снижения глубины сезонного протаивания рекомендуется укладывать теплоизоляцию на откосах (схема V-3) или на берме (схема V-4). Результаты расчёта приведены на рис. 7.11 и 7.12.

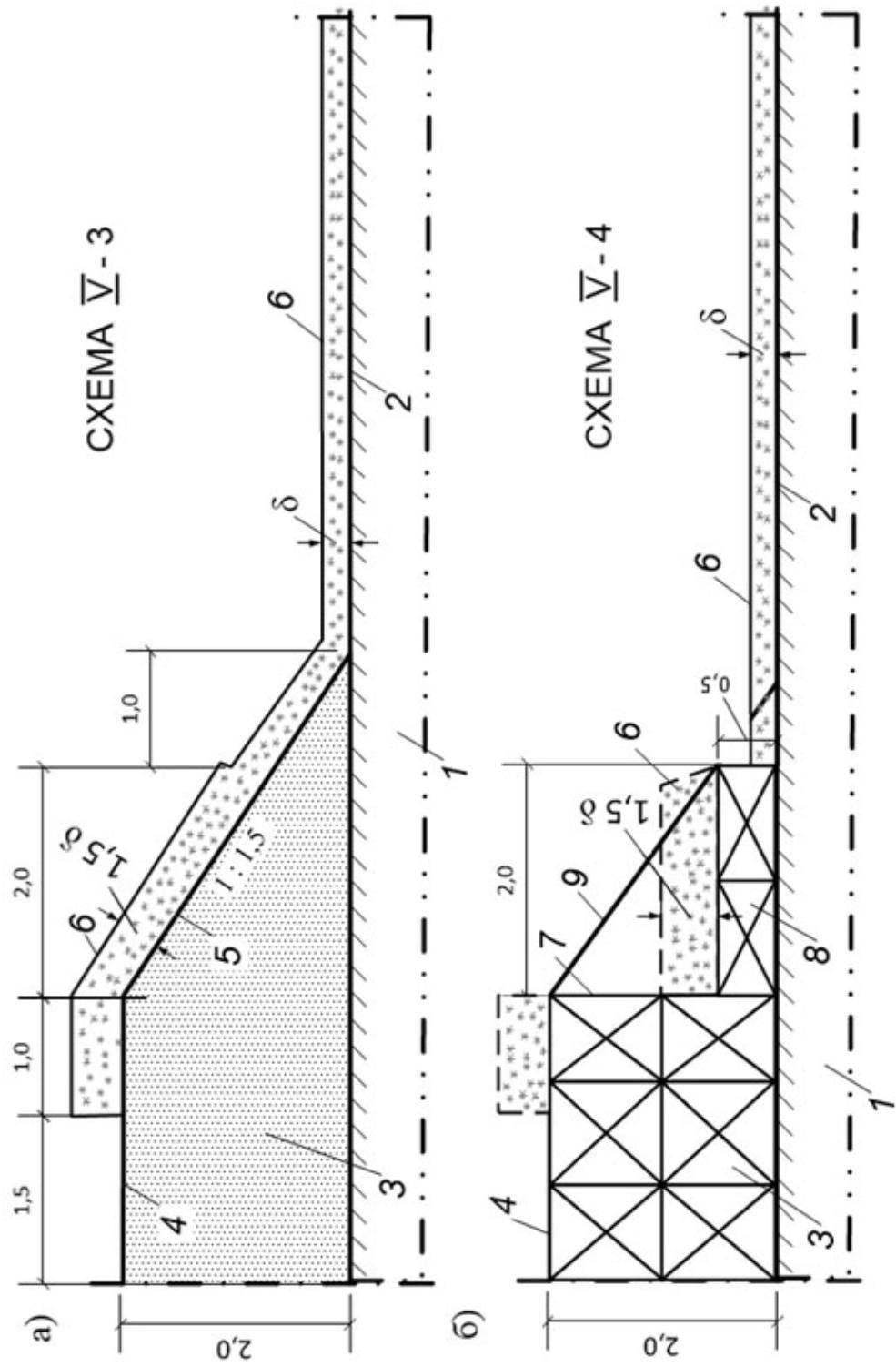


Рисунок 7.8 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 2,0 м для региона V: а, б - схемы V-3 и V-4;
 1 - грунт основания, 2 - естественная поверхность грунта, 3 - тело насыпи, 4 - основная
 площадка насыпи, 5 - откос насыпи, 6 - поверхность снежных отложений, 7, 8, 9 –
 соответственно габионы тела насыпи, берма из габионов, ребро жёсткости

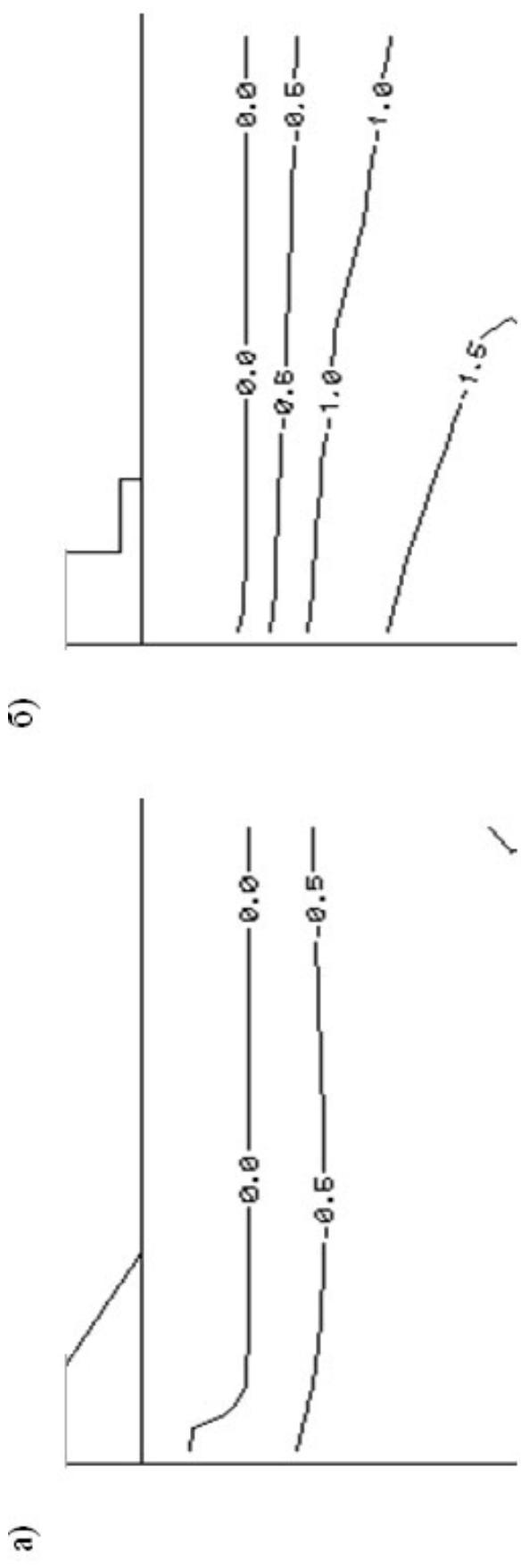


Рисунок 7.9 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установленвшемся режиме в грунтах основания и тела насыпи высотой 2.0 м для района Якутска: а – схема V-3, б – схема V-4

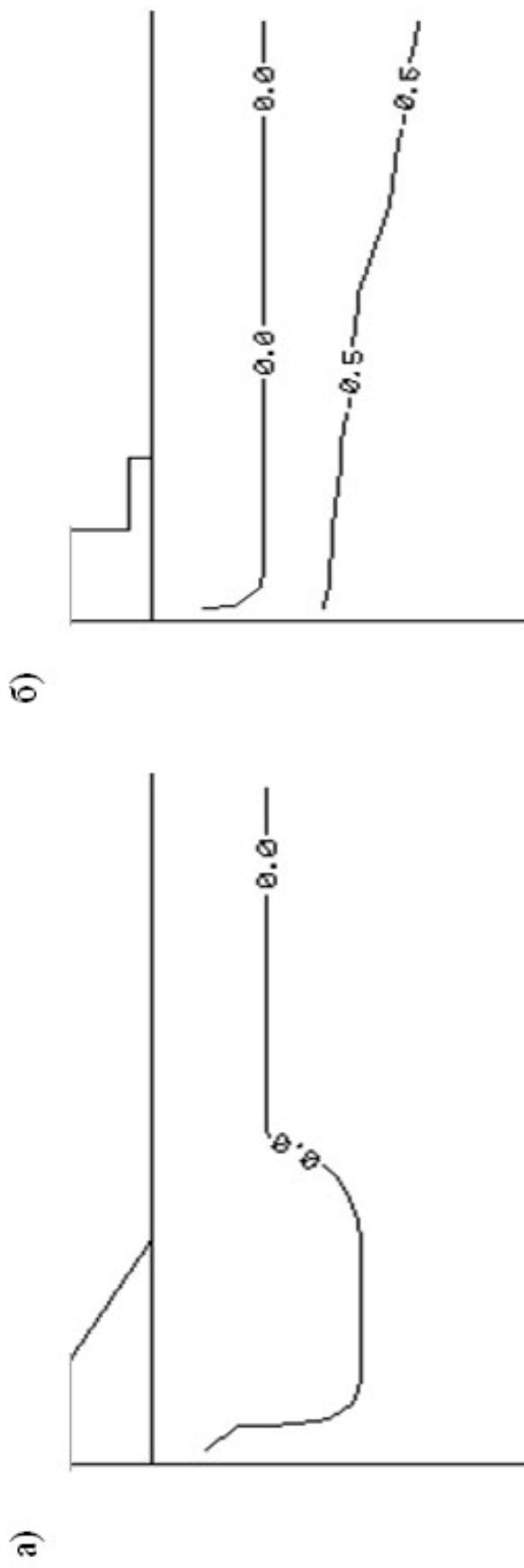


Рисунок 7.10 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установившемся режиме в грунтах основания и тела насыпи высотой 2.0 м для района Мирного: а – схема V-3, б – схема V-4

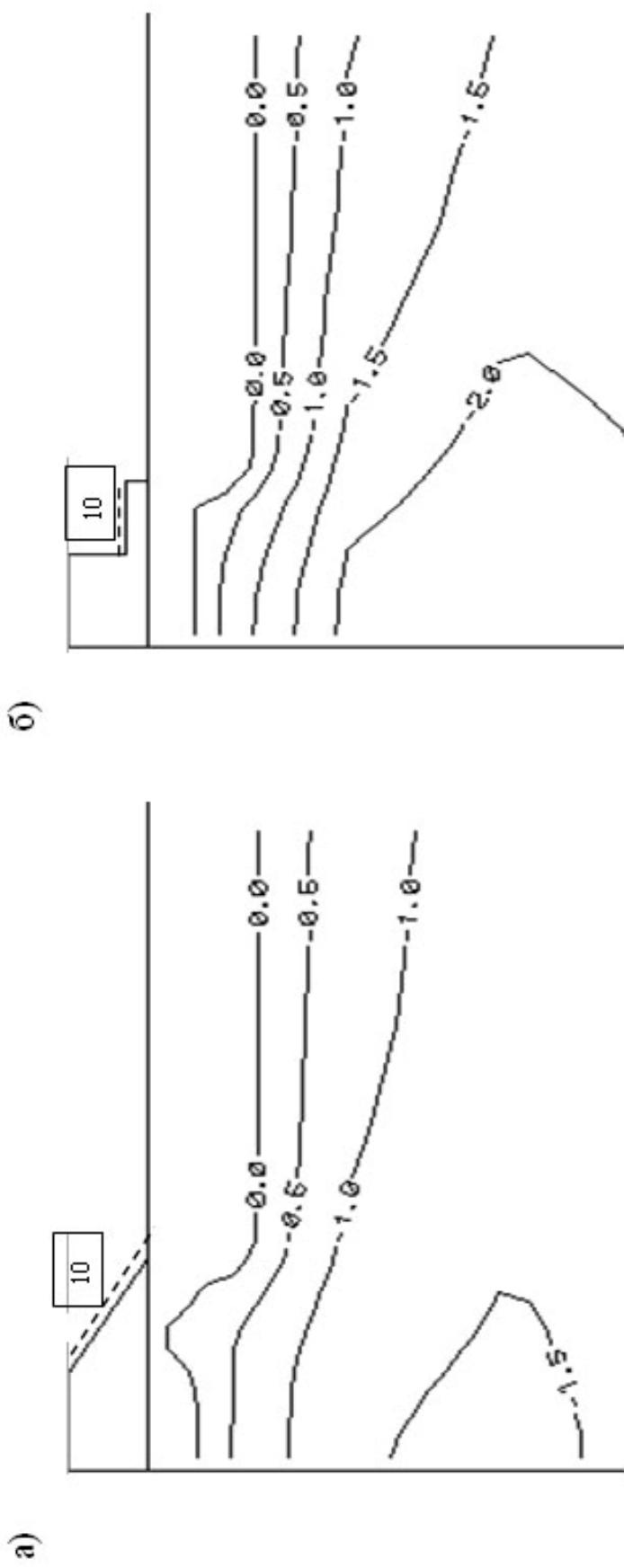
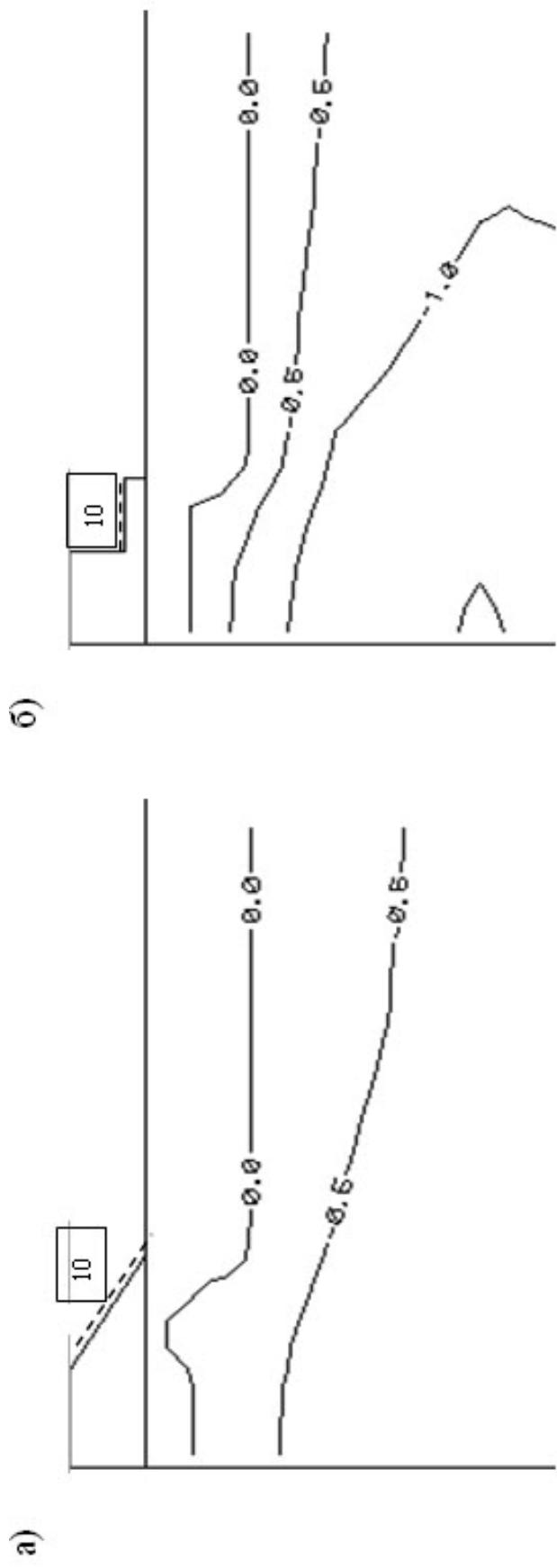


Рисунок 7.11 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установившемся режиме в грунтах основания и тела насыпи высотой 2.0 м при наличии теплоизоляции на откосе и берме для района Якутска: а – схема V-3, б – схема V-4

Рисунок 7.12 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установившемся режиме в грунтах основания и тела насыпи высотой 2.0 м при наличии теплоизоляции на откосе и берме для района Мирного: а – схема V-3, б – схема V-4



7.4. Насыпь высотой 6.0 м

Для насыпи высотой 6.0 м рекомендуется два вида поперечного сечения: схема V-5 и V-6 (рис. 7.13). В основу положены те же предпосылки, что и для насыпи высотой 4.0 м (см. п. 7.2).

Результаты расчёта температурного режима до установившегося состояния без применения мероприятий по охлаждению представлены для Якутска и Мирного на рис. 7.14 и 7.15. Схема V-5 не обеспечивает твёрдомёрзлого состояния грунтов. Схема V-6 обеспечивает твёрдомёрзлое состояние только для Якутска.

Для достижения твёрдомёрзлого состояния грунтов и снижения глубины сезонного протаивания рекомендуется устройство теплоизоляции. Примеры приведены на рис. 7.16 и 7.17.

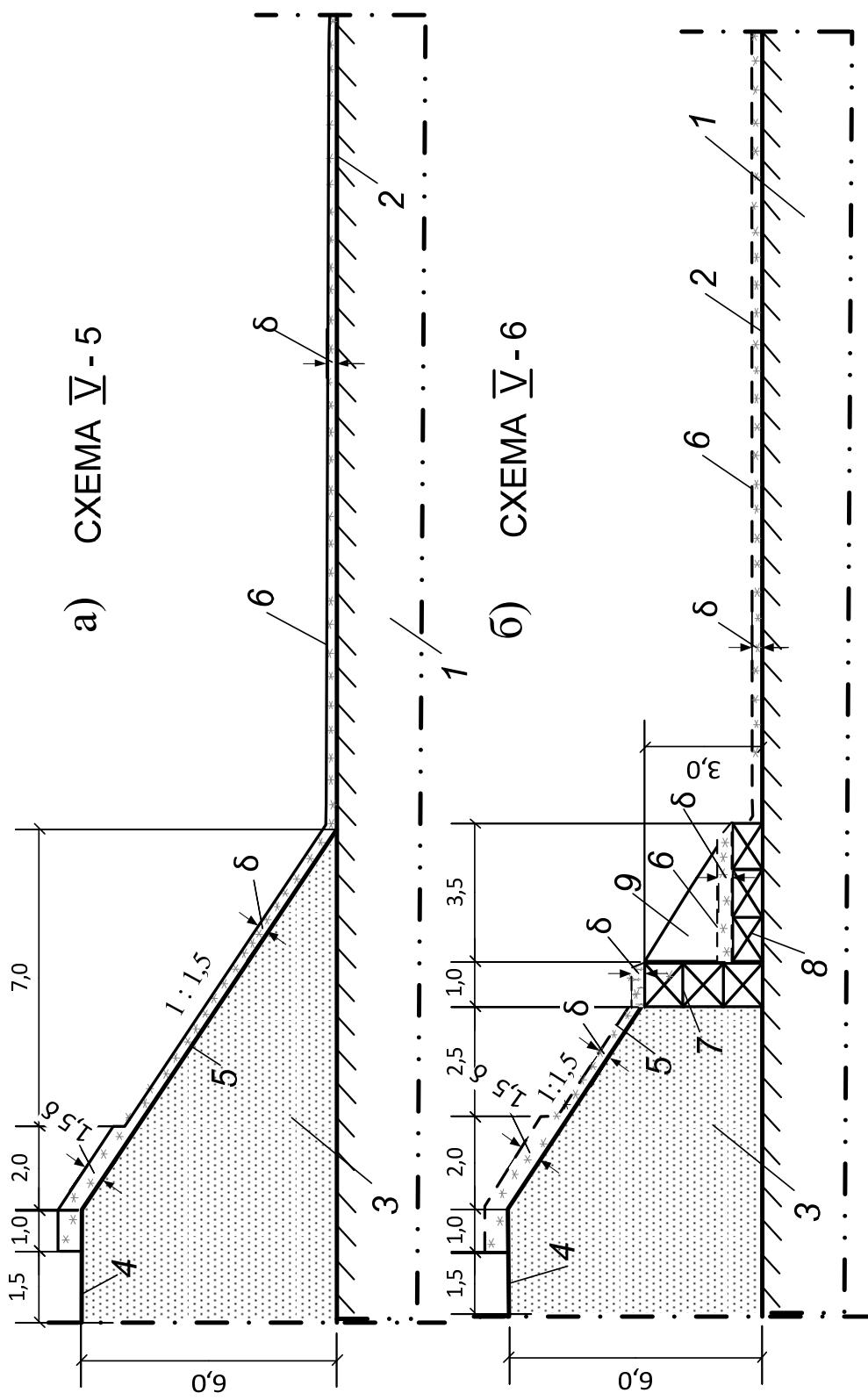


Рисунок 7.13 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 6,0 м для региона V: а, б - схемы V-5 и V-6;
 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – основная
 площадка насыпи, 5 – откос насыпи, 6 – поверхность снежных отложений, 7, 8, 9 –
 соответственно стенка, основание и ребро жёсткости единой жёсткой охлаждающей

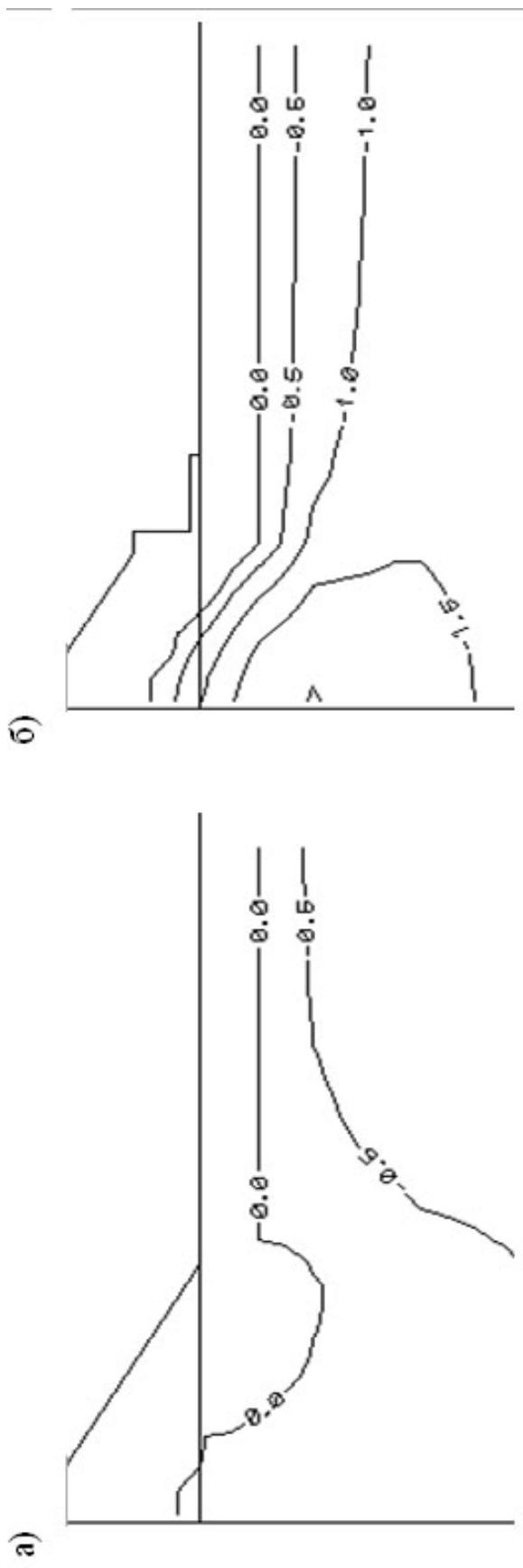


Рисунок 7.14 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи на момент окончания тёплого периода года в установленившемся режиме для района Якутска: а – схема V-5; б - схема V-6

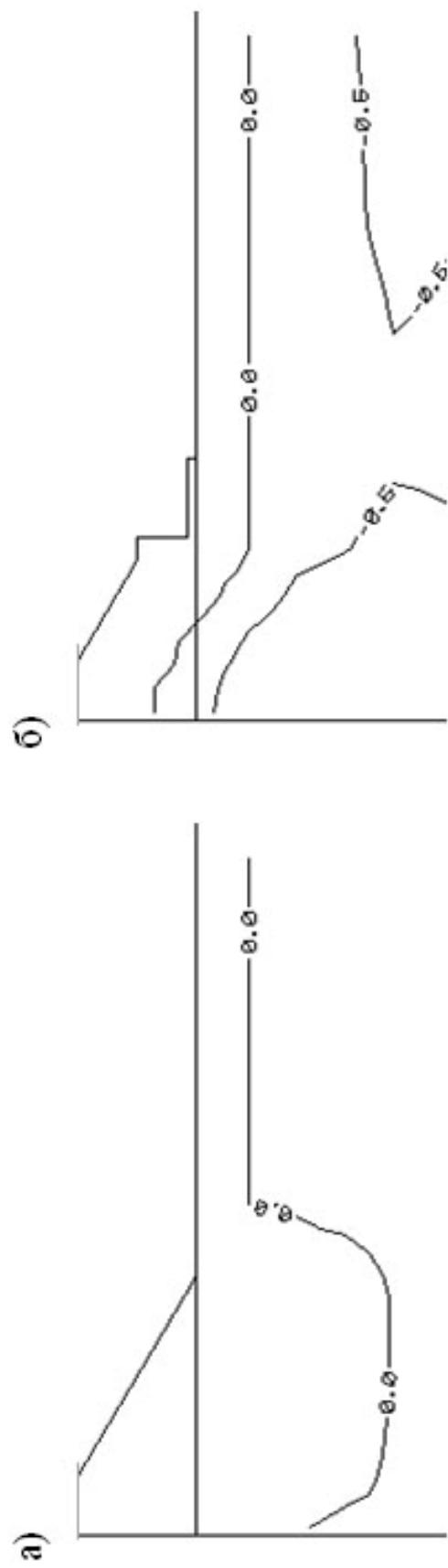


Рисунок 7.15 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи на момент окончания тёплого периода года в установленившемся режиме для района Мирного: а – схема V-5, б - схема V-6

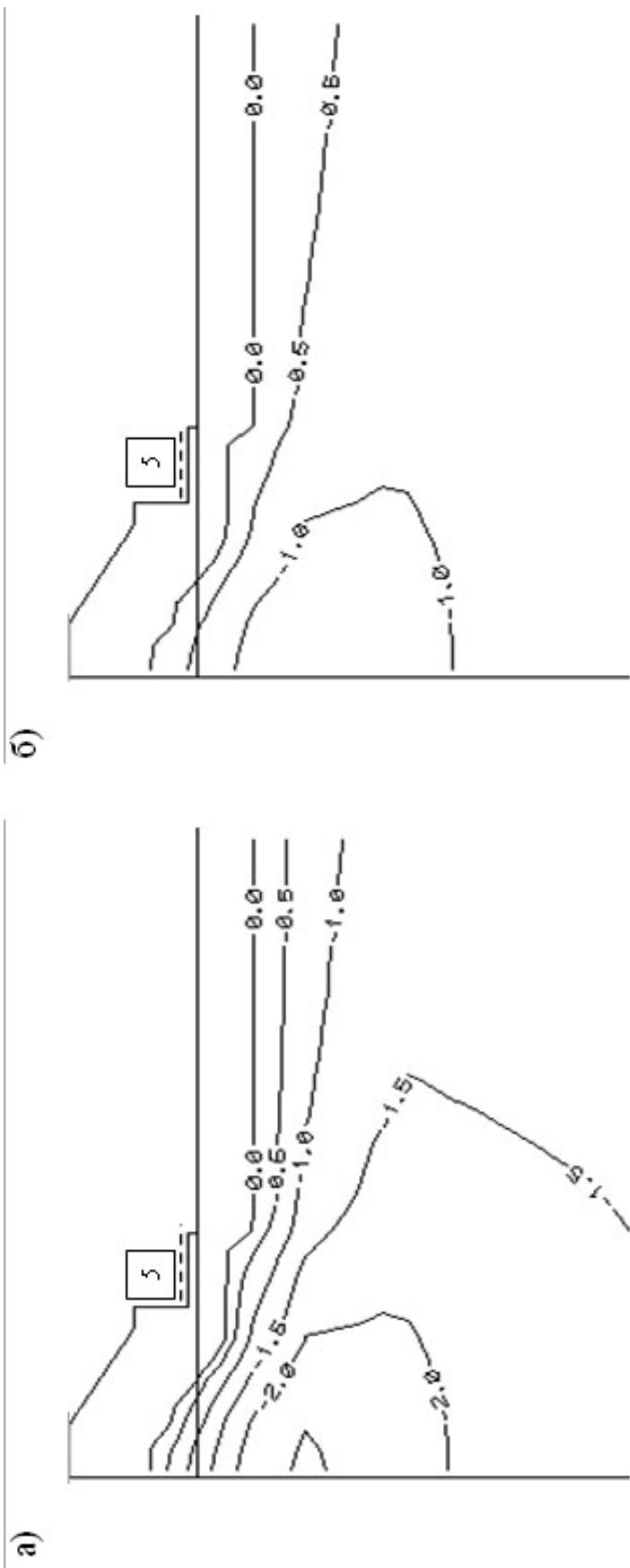


Рисунок 7.16 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи на момент окончания тёплого периода года в установленвшемся режиме. Схема V-6. Теплоизоляция 5,0 см в берме: а – для района Якутска; б - для района Мирного

a)
б)

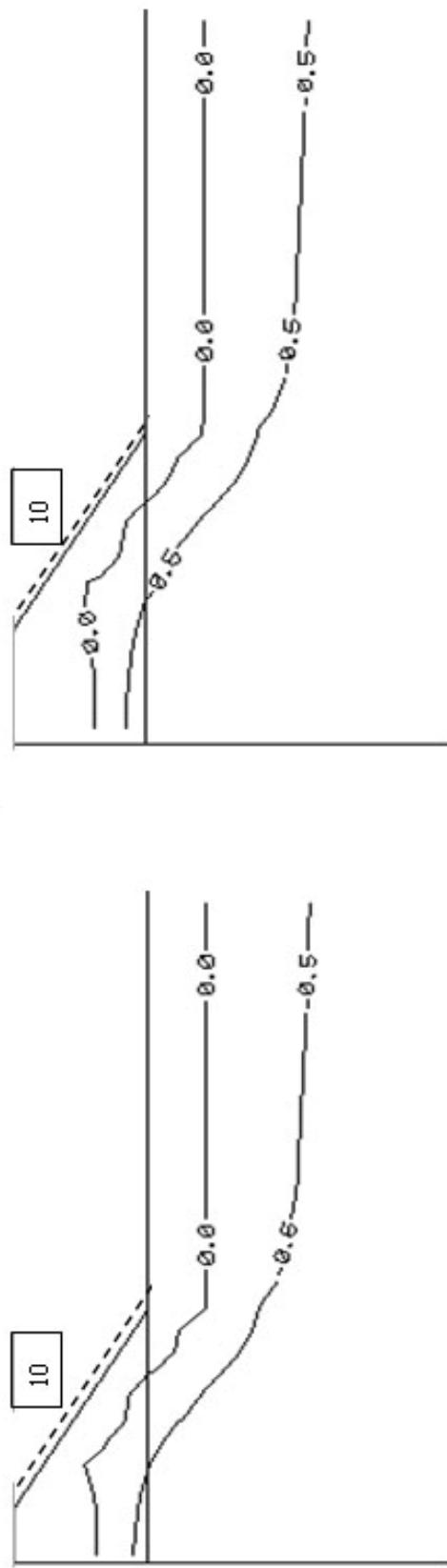


Рисунок 7.17 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установившемся режиме в грунтах основания и тела насыпи высотой 6.0 м при наличии теплоизоляции 10.0 см на откосе для района Мирного: а – схема V-5, б – схема V-5a (ширина основной площадки 10.0 м)

8. ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В РЕГИОНЕ I

8.1 Общие положения

Регион I характеризуется более сильным снегопереносом, чем регион III, поэтому уклоны снегоотложений равны 1:10. В этом случае теплоизоляция на откосах и берме необходима. Для увеличения охлаждающих зон интенсивного типа рекомендуется применять боковые охлаждающие площадки.

При поиске рациональных конструктивных решений насыпи, необходимости и мощности теплоизоляции были проведены расчёты с учётом толщины снежных отложений в различных зонах поперечного сечения насыпи в соответствии с рис. 8.1. Методика этого учёта сформулирована в разделе 6.1.1 главы 6.

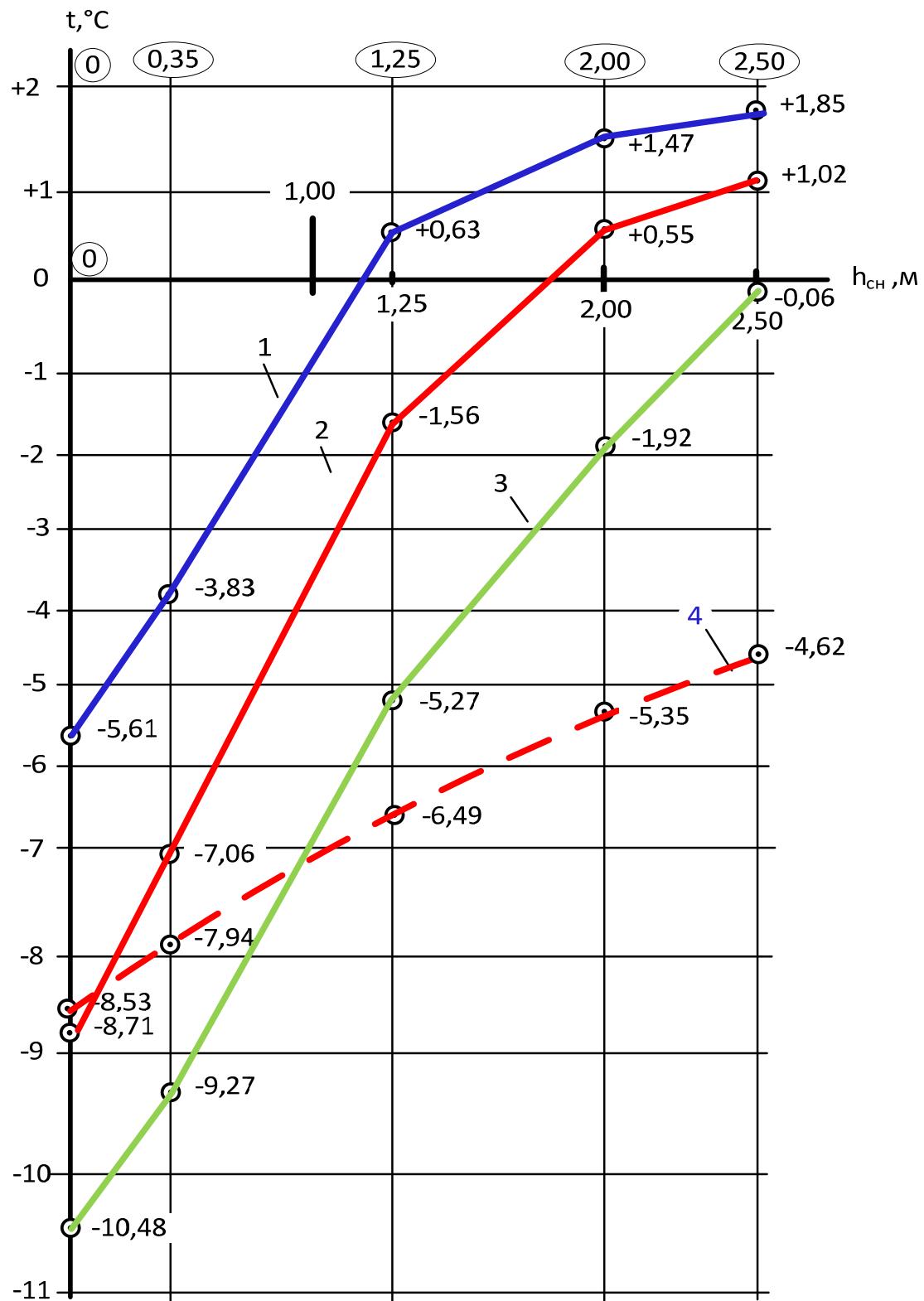


Рисунок 8.1 - Зависимость температуры грунта на глубине нулевых амплитуд от толщины снежного покрова для региона I:
 1 – для пункта «М», 2 – для Харасавея, 3 – для Диксона,
 4 – для Харасавея при пенополистироле 10 см на поверхности

8.2. Насыпь высотой 4,0 м

Для высоты насыпи 4,0 м рекомендуются три схемы поперечного сечения I-1, I-2 и I-3 (рис. 8.2 и 8.3). Схема I-1 содержит пологий откос, поэтому снежные отложения имеют меньшую толщину и, следовательно, меньше тепловое влияние. Схема I-2 содержит верхнюю боковую охлаждающую площадку и по тепловому влиянию примерно соответствует схеме I-1, но в плане занимает меньшую ширину. Схема I-3 с более крутыми откосами (1:2) наиболее экономична с точки зрения расхода грунтов, но в тепловом отношении проигрывает первым двум.

Сопоставление теплового влияния схем I-1 и I-3 приведено на рис. 8.4 и 8.5. Если схема I-1 (с откосом насыпи 1:4) для всех трёх рассматриваемых пунктов формирует твёрдомёрзлое состояние грунтов, то схема I-3 для пункта «М» формируют только пластичномёрзлое состояние грунтов, поэтому желательно применение мероприятий по охлаждению.

Применение теплоизоляции позволяет существенно улучшить температурное состояние грунтов для пункта «М»: на рис. 8.6 и 8.7 приведены результаты расчётов для схемы I-3 (ширина основной площадки 5,0 м) и I-3а (ширина основной площадки 10,0 м).

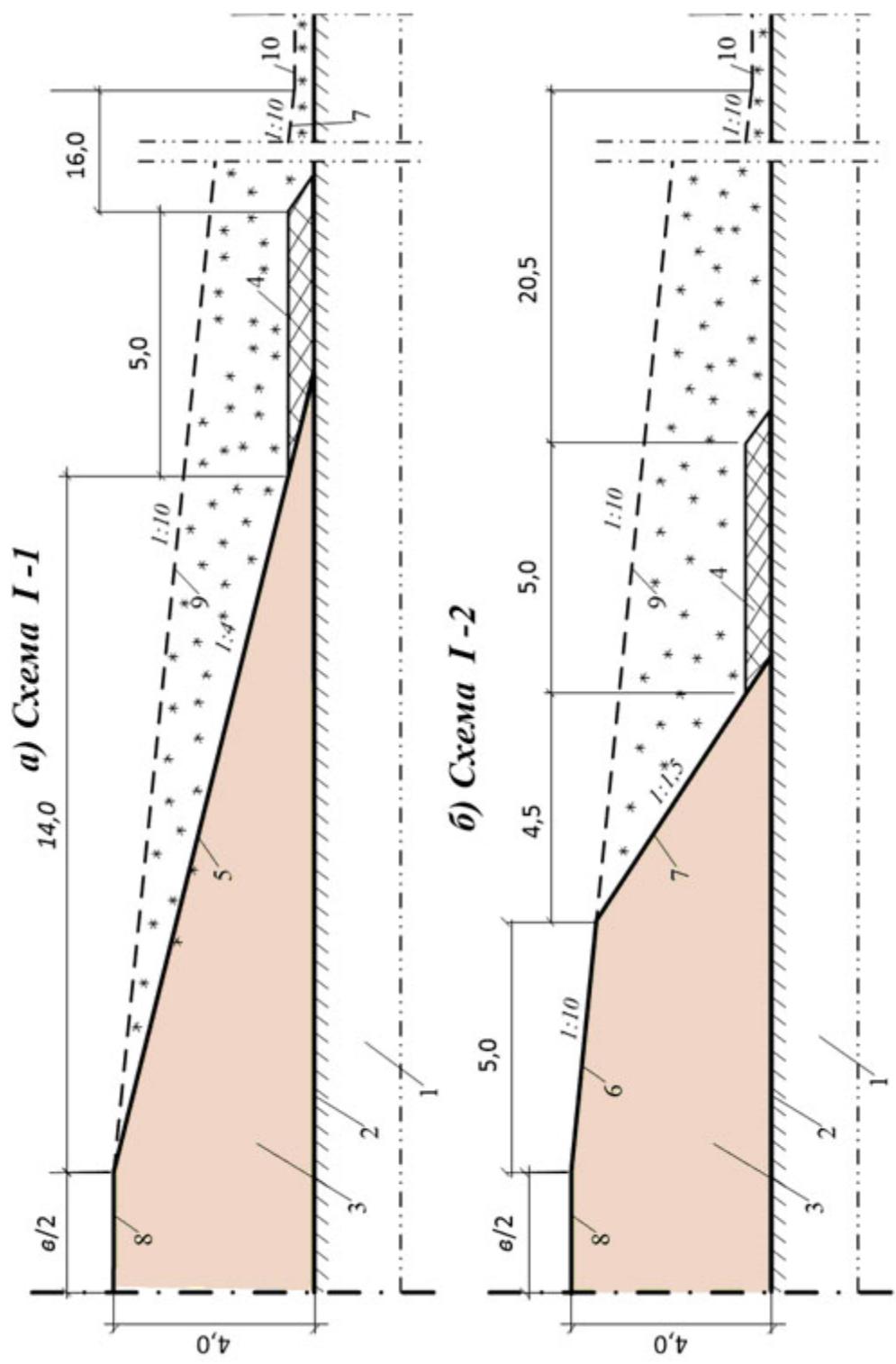


Рисунок 8.2 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 4 м для региона I: а, б – соответственно схемы I-1 и I-2, 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – откос насыпи, 6, 7 – верхний и нижний откосы насыпи, 8 – основная площадка насыпи, 9 – откос снежных отложений, 10 – поверхность снежных отложений в ненарушенной зоне

a) Схема I-3

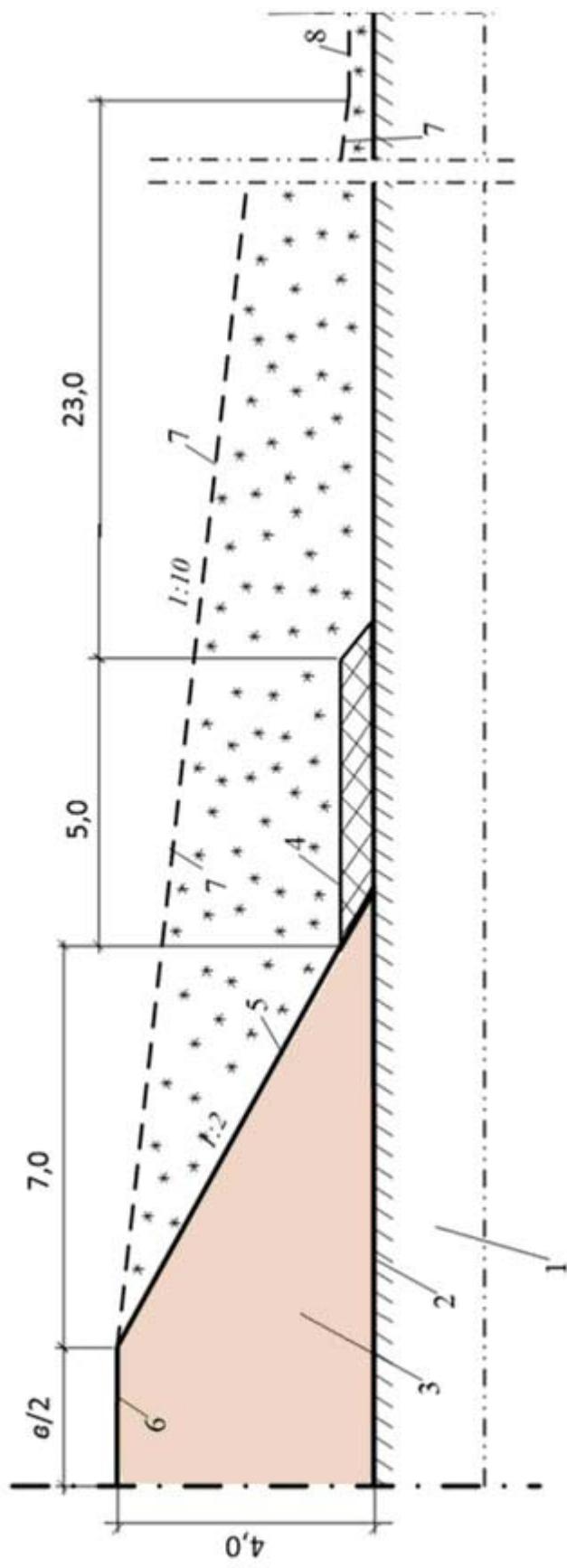


Рисунок 8.3 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 4 м для региона I: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – откос насыпи, 6 – основная площадка насыпи, 7 – откос снежных отложений, 8 – поверхность снежных отложений в ненарушенной зоне

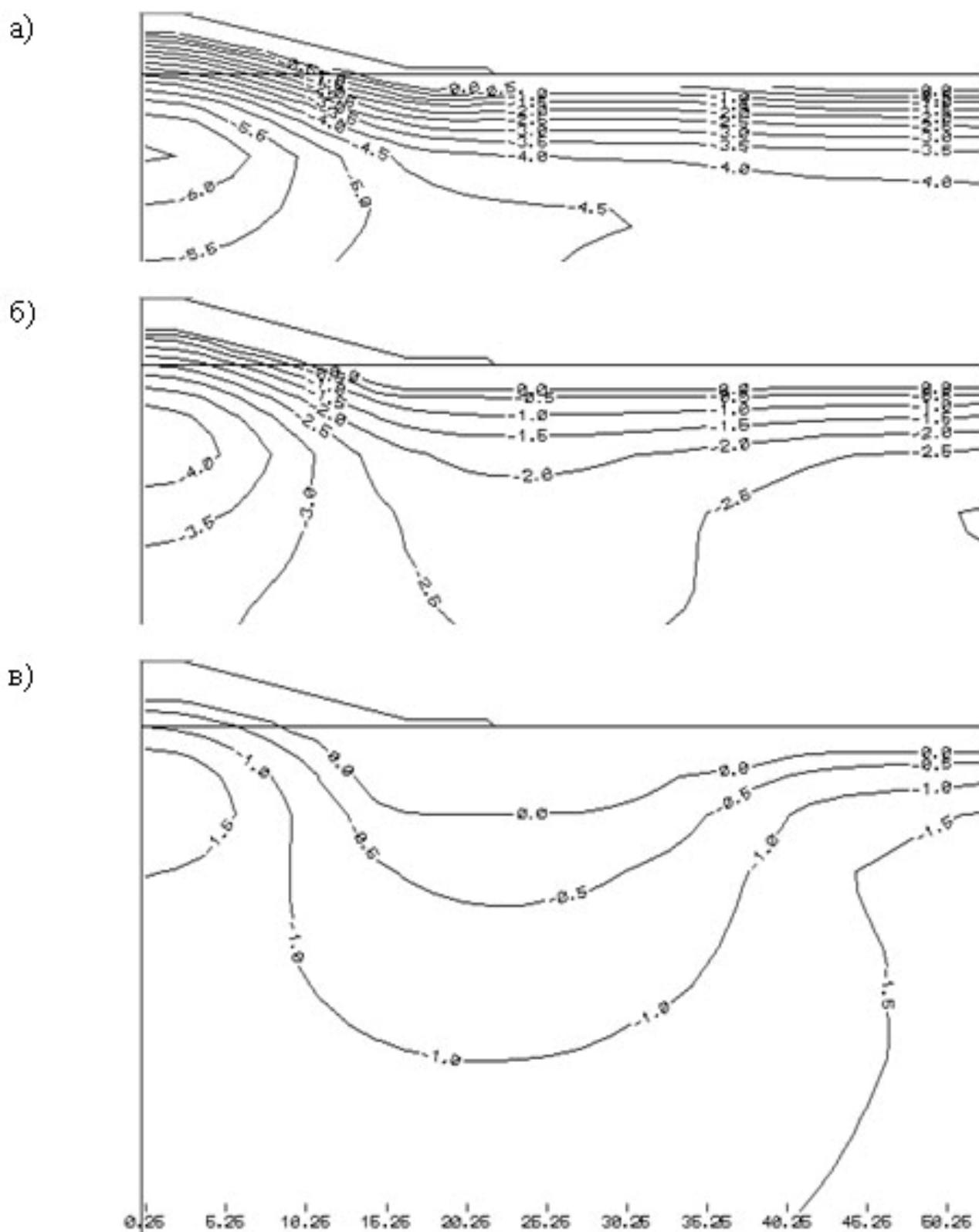


Рисунок 8.4 – Сопоставление для Диксона (а), Харасавея (б) и п. «М» (в) температурных полей на момент окончания тёплого периода года в установившемся состоянии. Схема I-1. Насыпь высотой 4.0 м

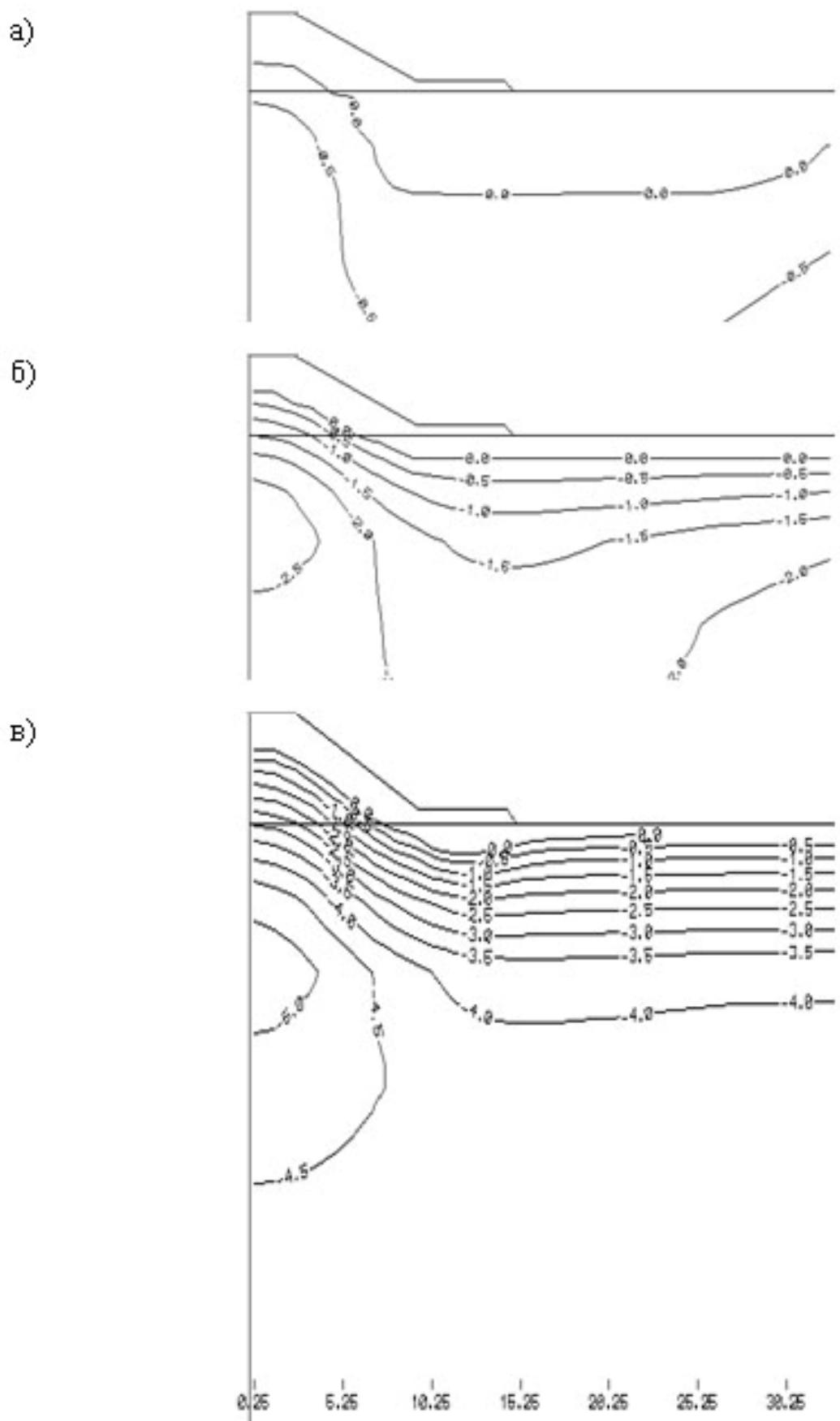


Рисунок 8.5 – Сопоставление для п. «М» (а), Харасавея (б) и Диксона (в) температурных полей на момент окончания тёплого периода года в установившемся состоянии. Схема I-3. Насыпь высотой 4.0 м

Рисунок 8.6 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установленном режиме в насыпи высотой 4.0 м, регион I, пункт «М»: а – без теплоизоляции, б – с теплоизоляцией. Схема I-3

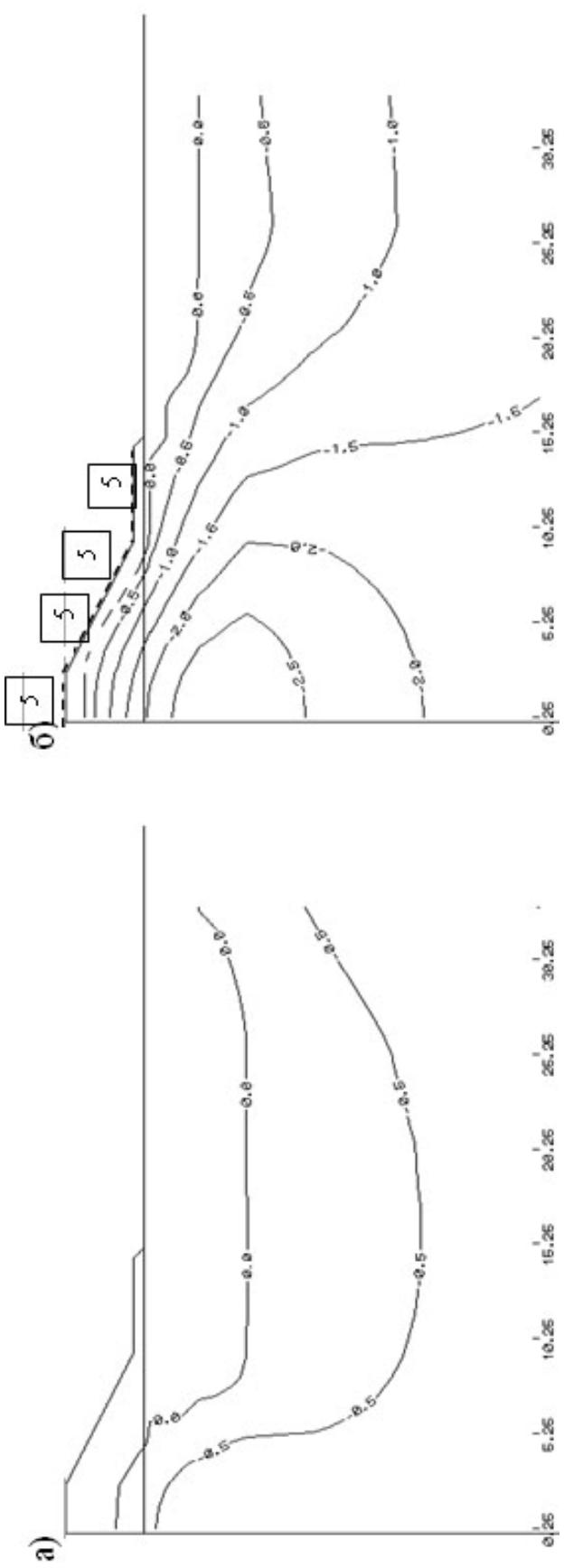
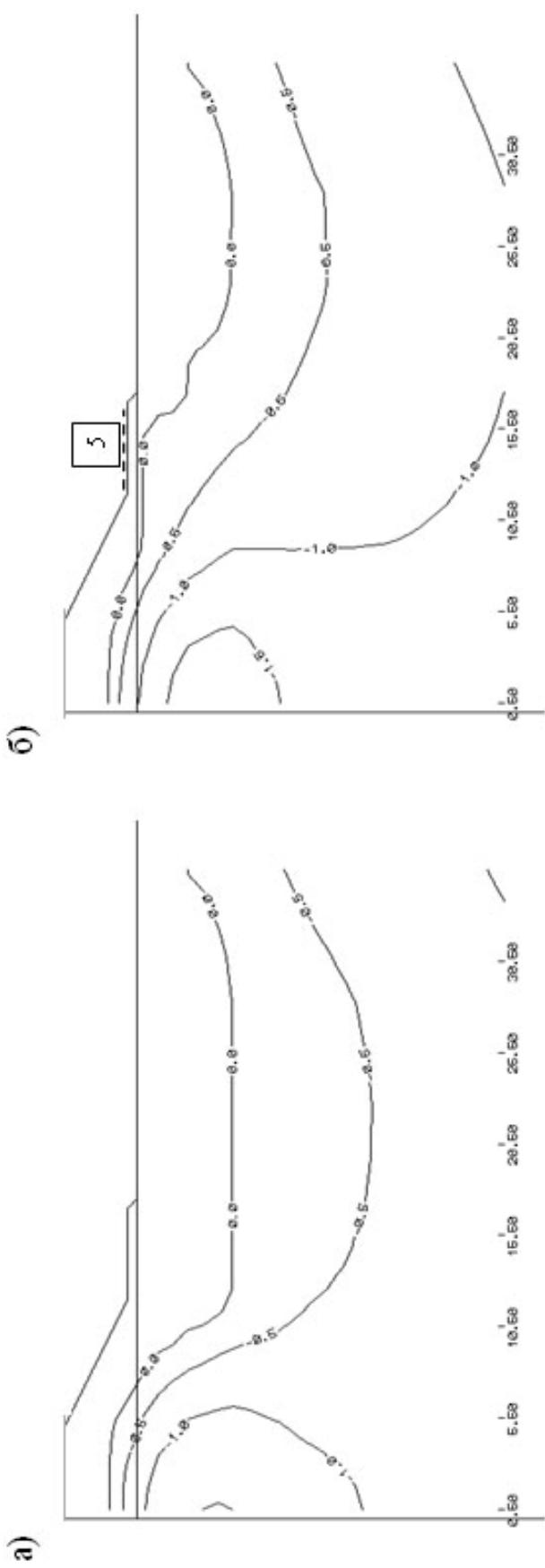


Рисунок 8.7 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установленвшемся режиме в насыпи высотой 4.0 м (ширина основной площадки 10.0 м), регион I, пункт «М»: а – без теплоизоляции, б – с теплоизоляцией. Схема I-3а

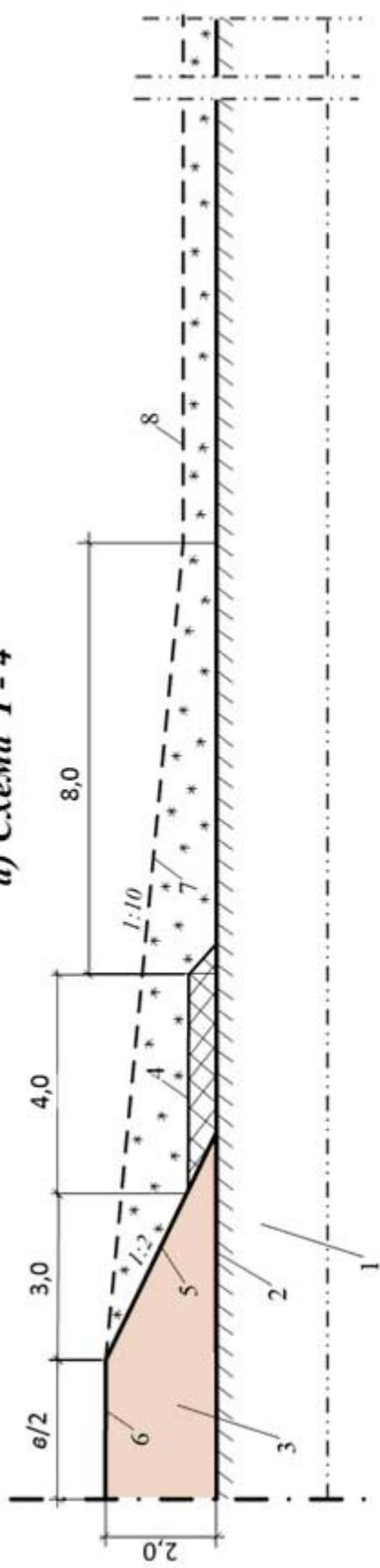


8.3. Насыпь высотой 2,0 м

Для насыпи высотой 2,0 м может быть рассмотрено две схемы поперечного сечения: I-4 и I-5 (рис. 8.8). Эти схемы отличаются только крутизной откосов. Схема I-4 более экономичная, но тепловое воздействие снежных заносов более значительно.

Сопоставление теплового влияния снежных отложений для всех трёх пунктов приведено для схемы I-4 на рис. 8.9. Во всех трёх случаях формируется твёрдомёрзлое состояние грунтов. Для пункта «М» образуется достаточно большая глубина сезонного протаивания. На рис. 8.10 приведены результаты расчётов для пункта «М» с учётом теплоизоляции.

a) Схема I - 4



b) Схема I - 5

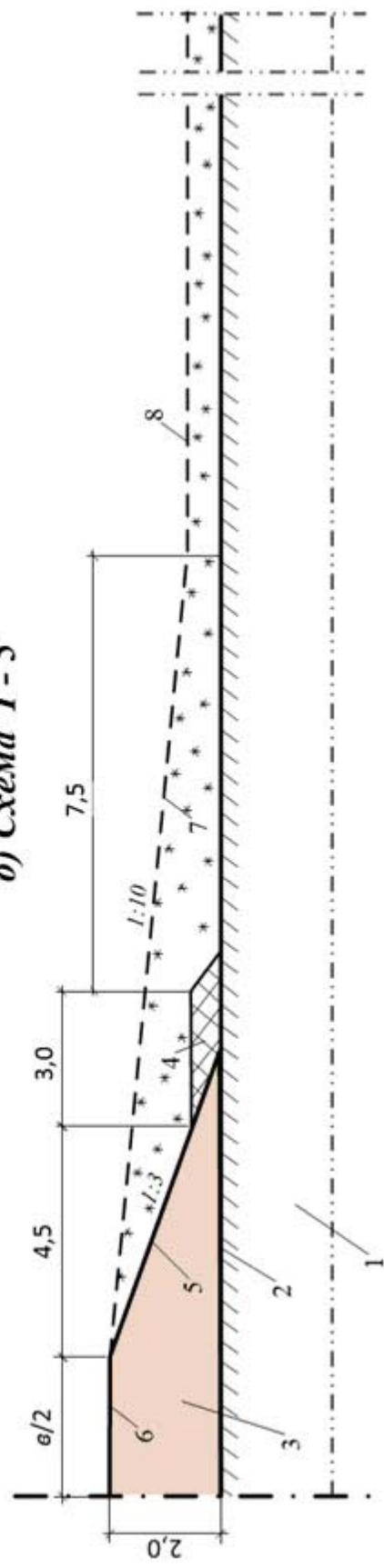


Рисунок 8.8 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 2 м для региона I: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – откос насыпи, 6 – основная площадка насыпи, 7 – откос снежных отложений, 8 – поверхность снежных отложений в ненарушенной зоне

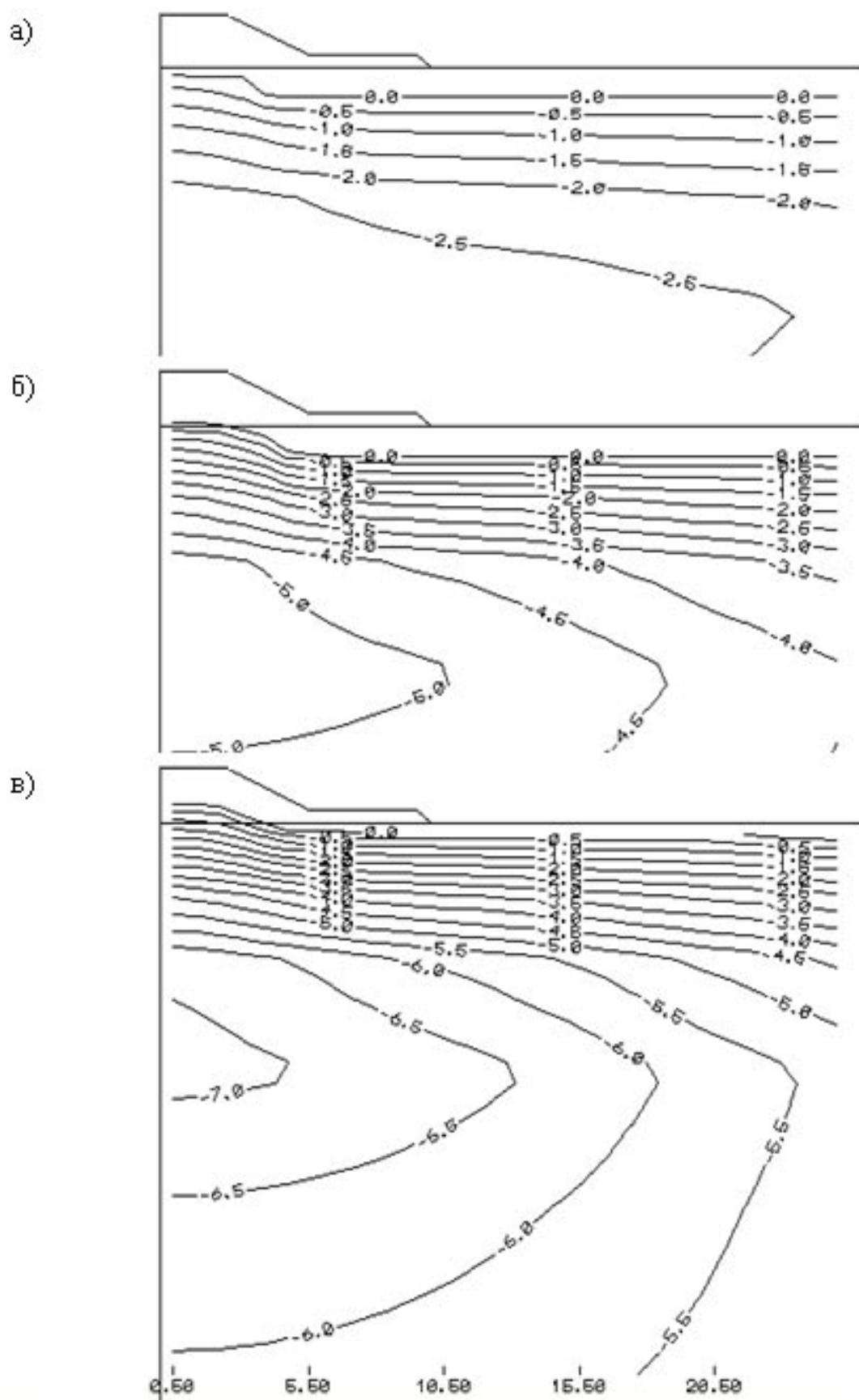


Рисунок 8.9 – Сопоставление для п. «М» (а), Харасавея (б) и Диксона (в) температурных полей на момент окончания тёплого периода года в установившемся состоянии. Схема I-4

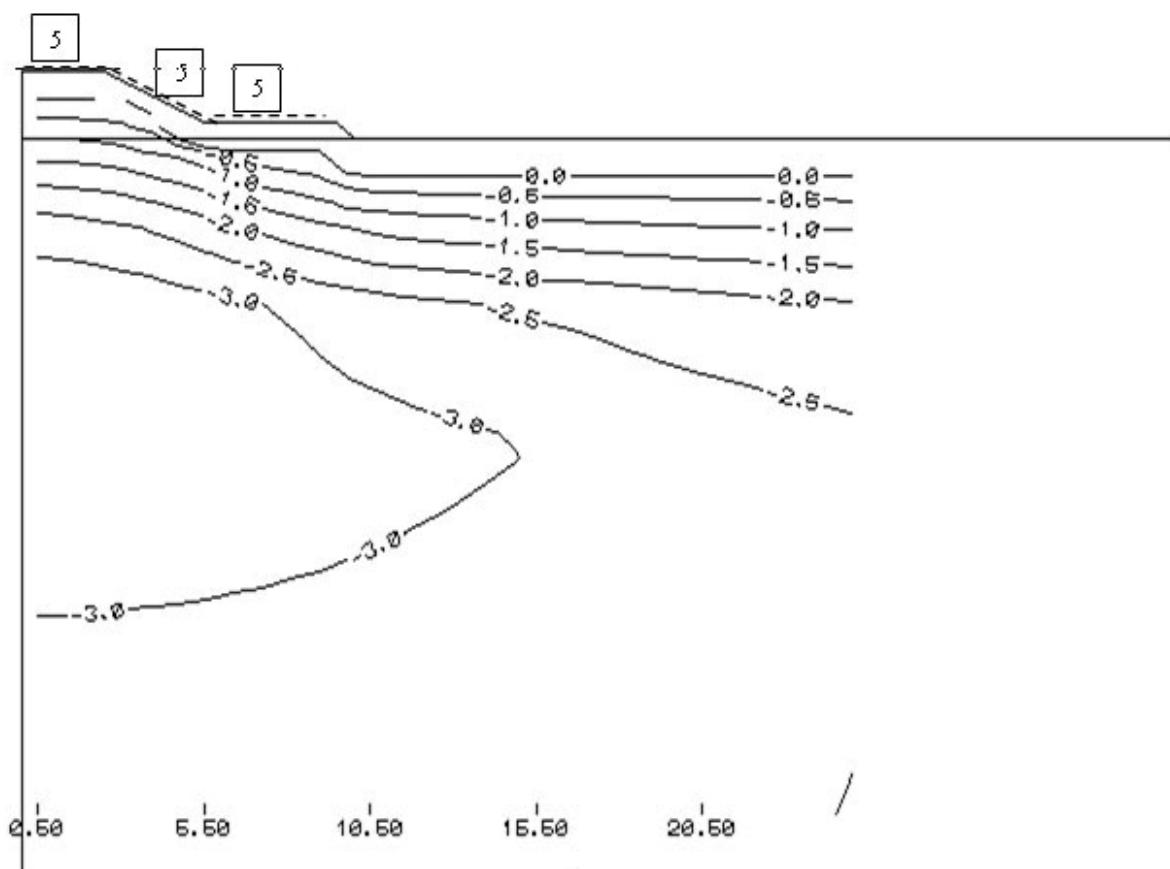


Рисунок 8.10 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установившемся режиме. Схема I-4, теплоизоляция 5.0 см на основной площадке, откосах и берме. Пункт «М»

8.4. Насыпь высотой 6,0 м

Для насыпи высотой 6,0 м может быть рекомендовано две схемы поперечного сечения: I-6 и I-7 (рис. 8.11). Наиболее распространённым является схема I-6. Схема I-7 содержит верхнюю боковую охлаждающую площадку, поэтому формирует более благоприятный температурный режим, но требует больший расход грунтов.

На рисунке 8.12 представлено сопоставление температурных полей для трёх пунктов по схеме I-6. Из этого рисунка видно, что для пункта «М» формируется глубокий талик. Для Харасавея талик формируется в зоне подошвы откоса насыпи. Применение теплоизоляции позволяет привести температурные поля в благоприятные состояния (рис. 8.13 и 8.14).

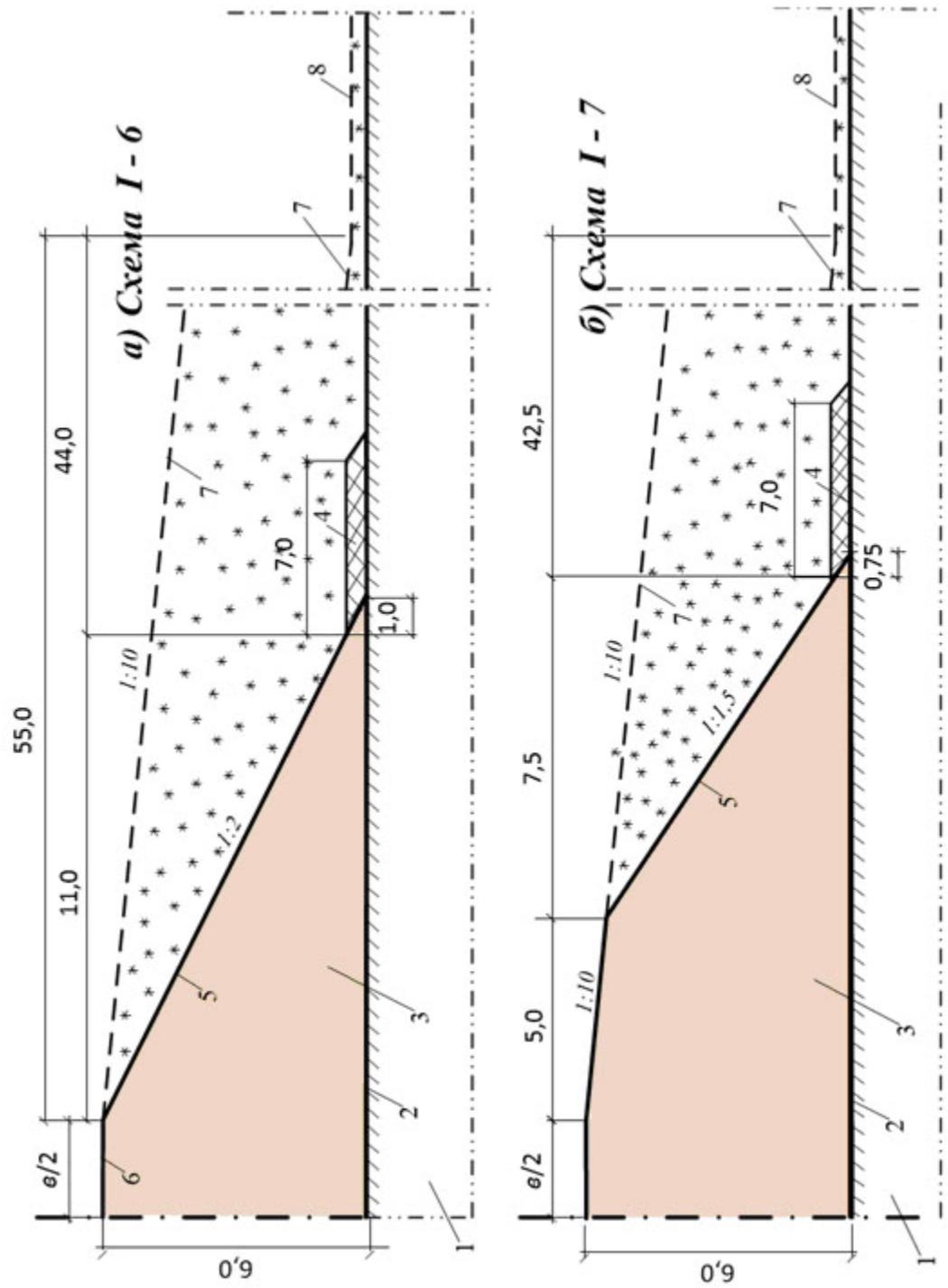
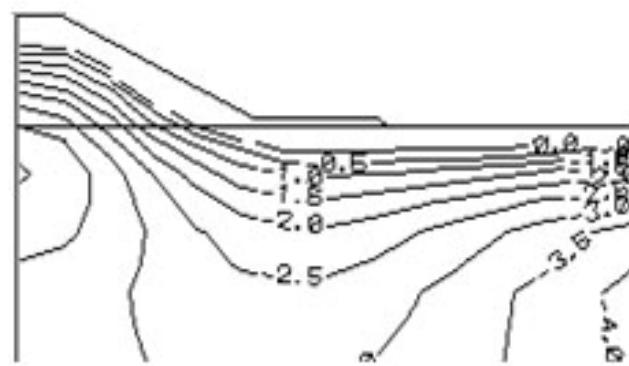
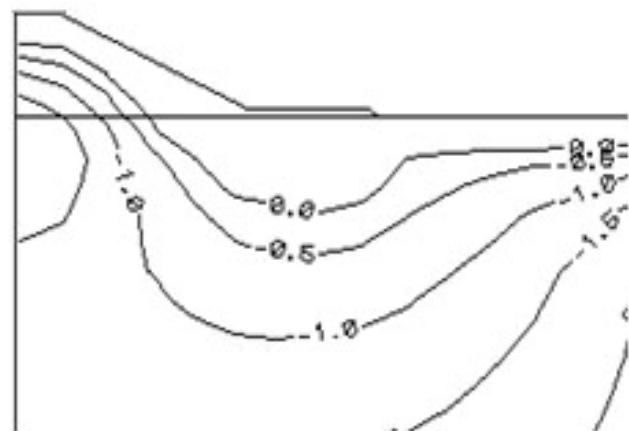


Рисунок 8.11 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 6 м для региона I: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – тело насыпи, 5 – откос насыпи, 6 – основная площадка насыпи, 7 – откос снежных отложений, 8 – поверхность снежных отложений в ненарушенной зоне

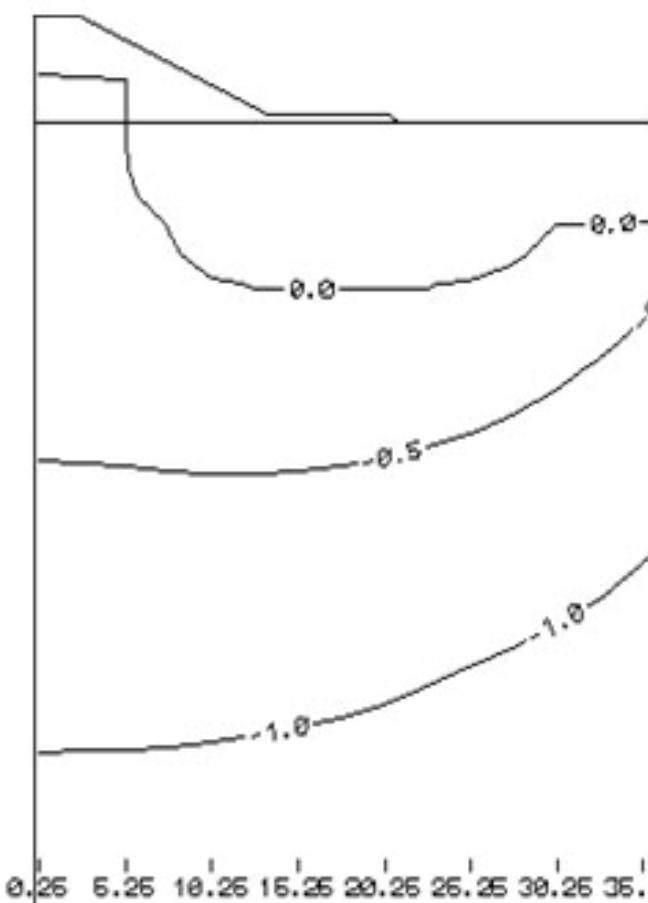
а)



б)



в)



0.25 5.25 10.25 15.25 20.25 25.25 30.25 35.

Рисунок 8.12 - Сопоставление температурных полей на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме для трёх пунктов региона I: Диксон, Харасавей, пункт «М». Насыпь 6.0 м, схема I-6

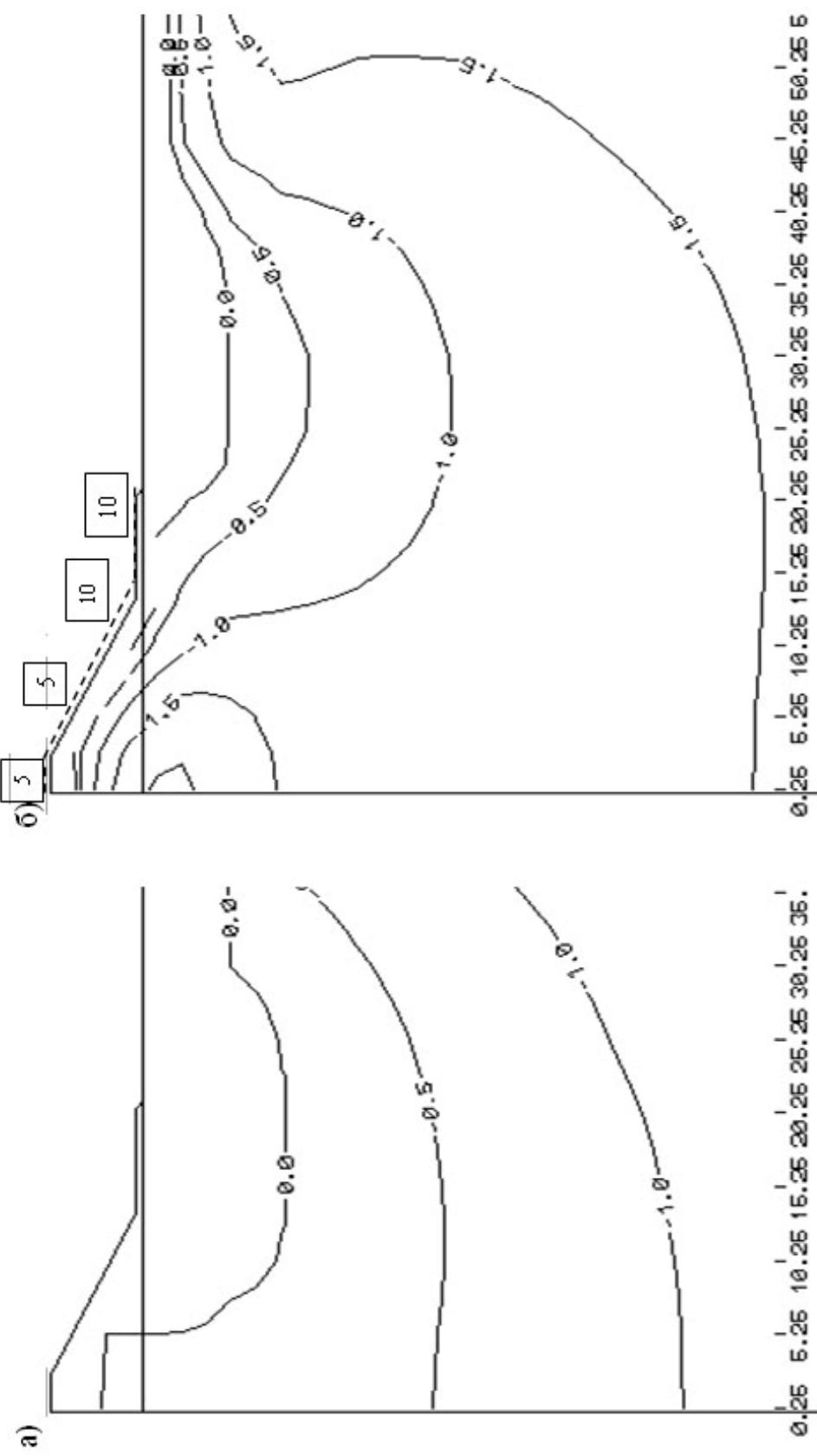


Рисунок 8.13 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установленвшемся режиме в насыпи высотой 6.0 м, регион I, пункт I, схема «М», а – без теплоизоляции, б – с теплоизоляцией

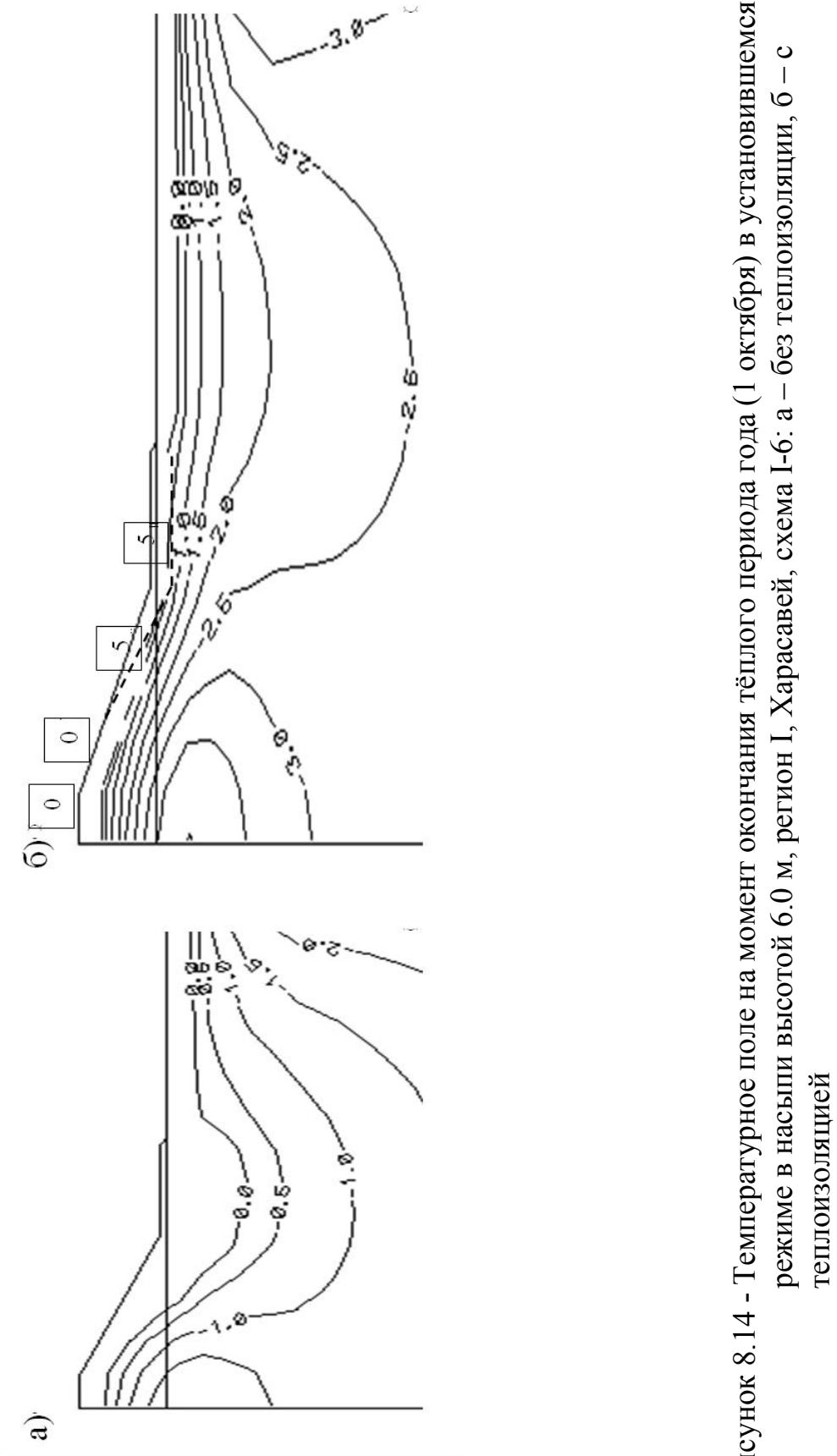


Рисунок 8.14 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установленвшемся режиме в насыпи высотой 6.0 м, регион I, Харасавей, схема I-6: а – без теплоизоляции, б – с теплоизоляцией

9. ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В РЕГИОНЕ II

9.1. Общие положения

Регион II характеризуется более сильным снегопереносом, чем регион III, и занимает промежуточное положение между регионами III и I, уклоны снегоотложения равны 1:7. В этом случае теплоизоляция на откосах и берме необходима. Для увеличения охлаждающих зон интенсивного типа рекомендуется применять боковые охлаждающие площадки.

При поиске рациональных конструктивных решений насыпи, необходимости и мощности теплоизоляции были проведены расчёты с учётом толщины снежных отложений в различных зонах поперечного сечения насыпи в соответствии с рис. 9.1. Методика этого учёта сформулирована в разделе 6.1.1 главы 6.

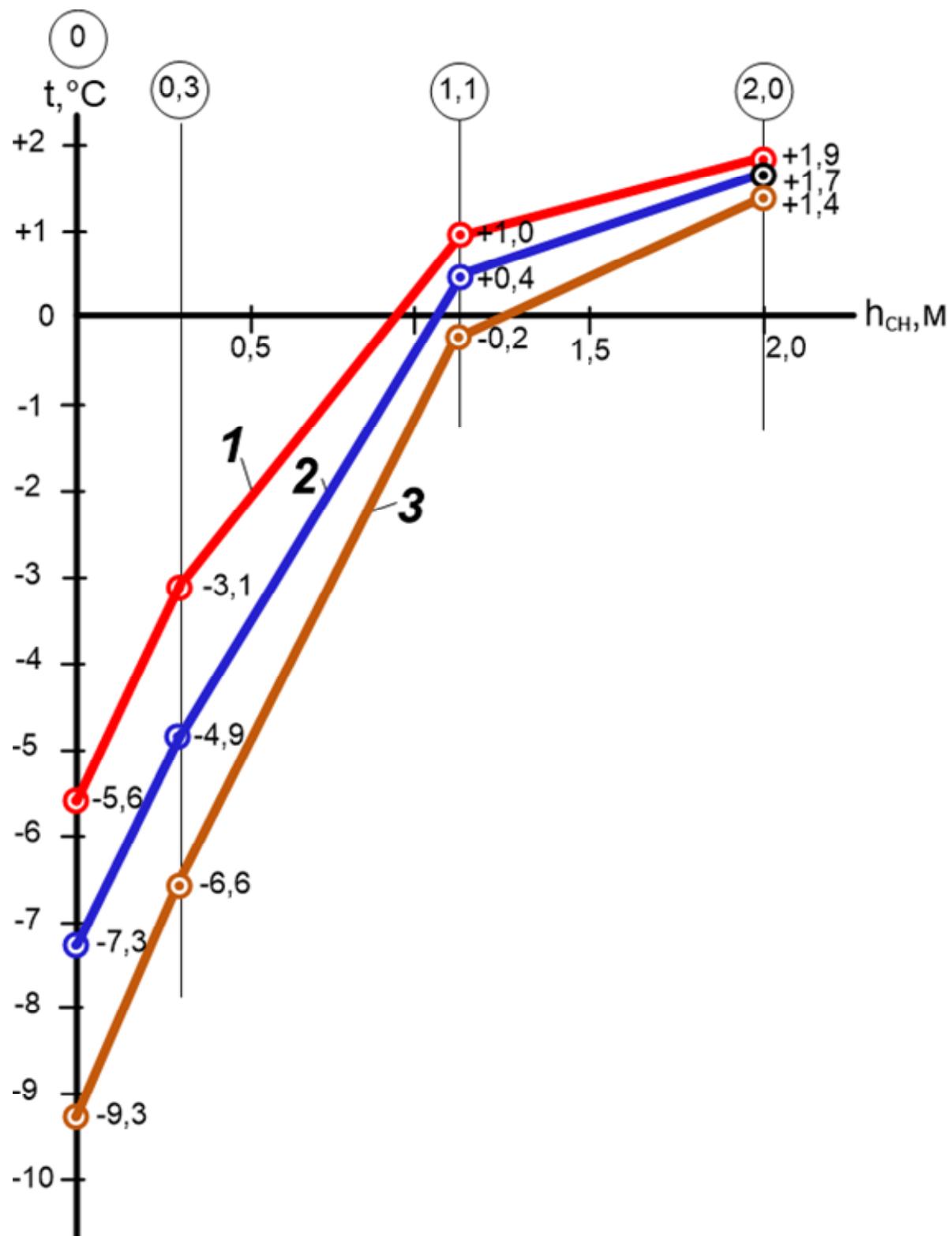


Рисунок 9.1 - Зависимость температуры грунта на глубине нулевых амплитуд от толщины снежного покрова для региона II: 1 – для пункта «Р», 2 – для п. Мерресале, 3 – для п. Дудинка

9.2. Насыпь высотой 4,0 м

Для высоты насыпи 4,0 м рекомендуется два вида поперечных сечений: схема II-1 и II-2 (рис. 9.2). Схема II-1 более простая, схема II-2 более сложная, но она включает верхнюю боковую ограждающую площадку, что даёт возможность её применения при более высоких температурах наружного воздуха.

На рис. 9.3 даны результаты расчётов схемы II-1 для всех трёх выбранных пунктов данного региона без принятия каких-либо мер по охлаждению, а на рис. 9.4 – то же, но с применением теплоизоляции (схема размещения и мощность теплоизоляции указаны на чертежах). Из этих рисунков видно, что для схемы II-1 температурное состояние достаточно надёжное. А с учётом возможной схемы II-2 можно сделать вывод о возможности обеспечения стабильного температурного режима и при более высоких температурах наружного воздуха.

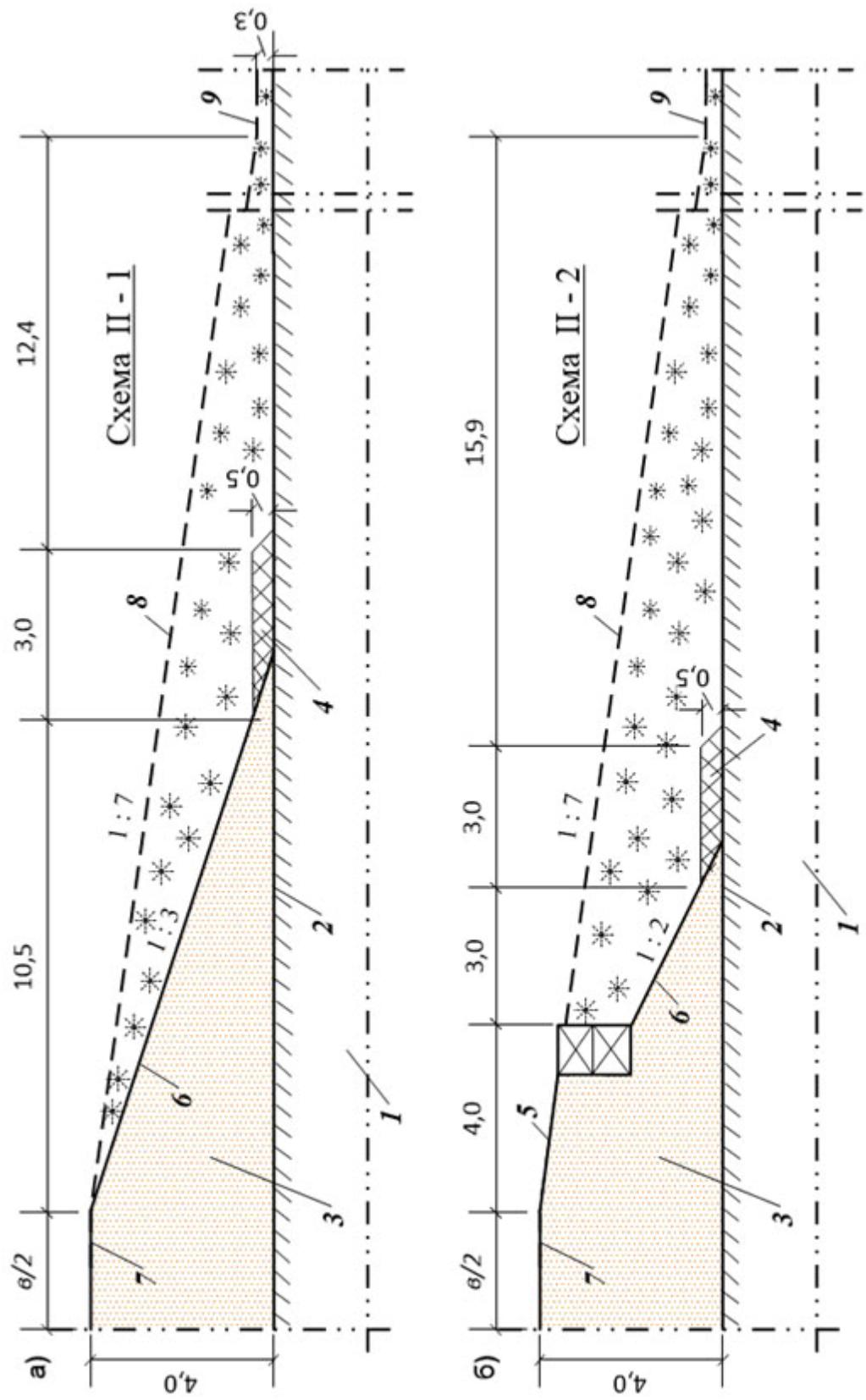


Рисунок 9.2 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 4 м для региона II: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – верхняя боковая охлаждающая площадка, 6 – откос насыпи, 7 – основная площадка насыпи, 8 – откос снежных отложений, 9 – поверхность снежных отложений в ненарушенной зоне

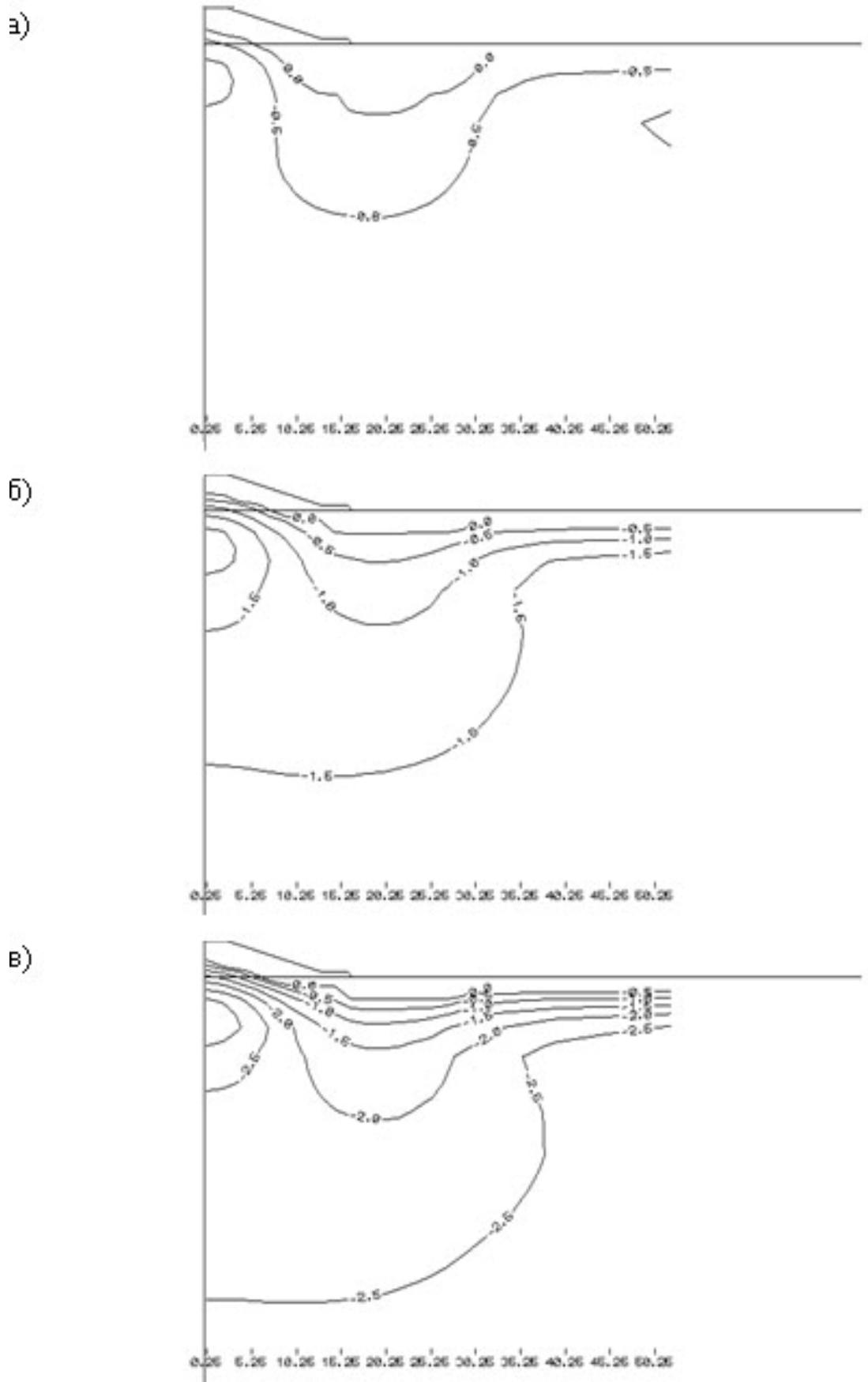


Рисунок 9.3 – Сопоставление для п. «Р» (а), Меррасале (б) и Дудинки (в) температурных полей на момент окончания тёплого периода года в установившемся состоянии. Схема II-1. Насыпь высотой 4.0 м

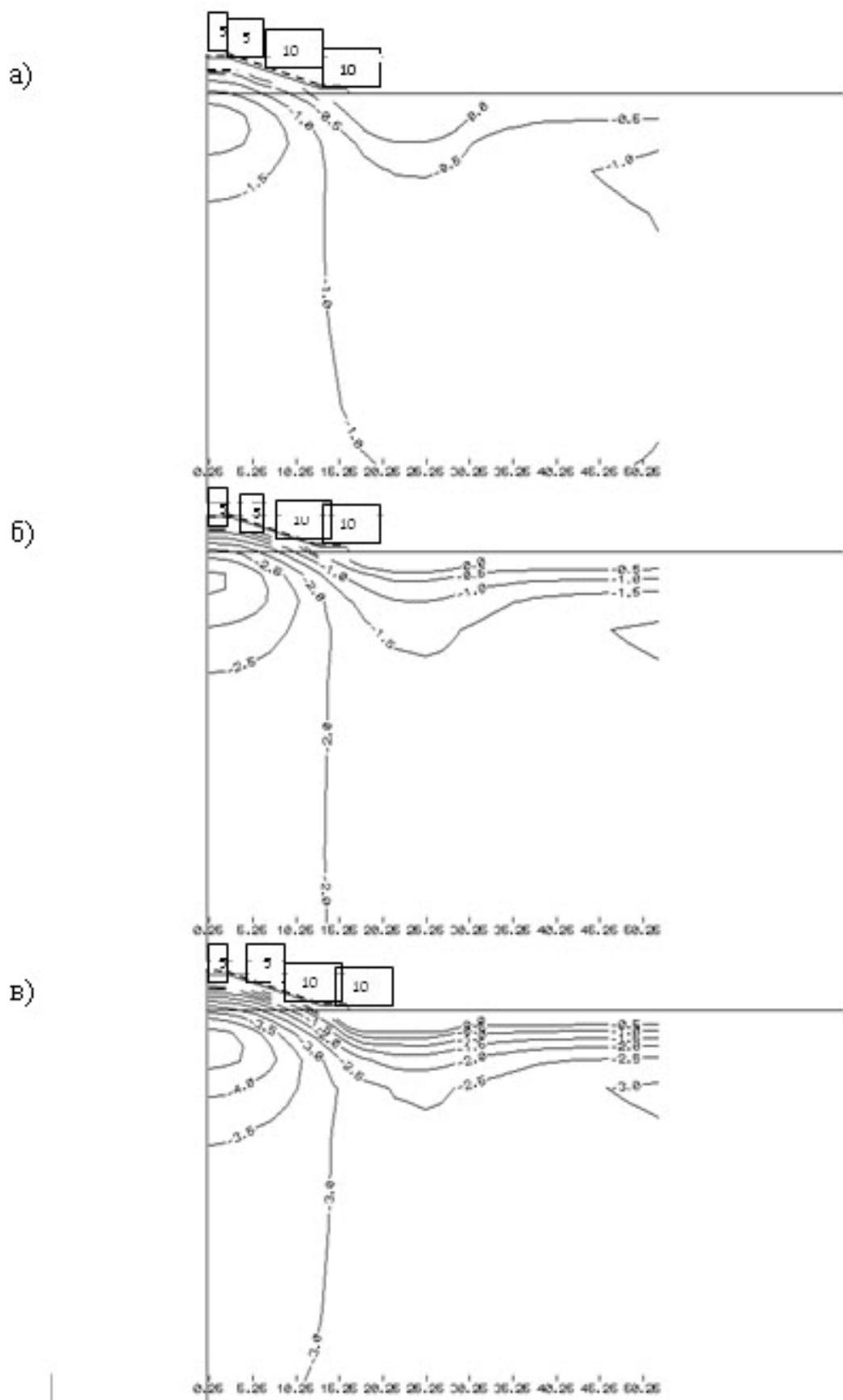


Рисунок 9.4 – Сопоставление для п. «Р» (а), Меррасале (б) и Дудинки (в) температурных полей на момент окончания тёплого периода года в установившемся состоянии. Схема II-1. Насыпь высотой 4.0 м. Технолоизоляция

9.3. Насыпь высотой 2,0 м

Для высоты насыпи 2,0 м рекомендуется два вида поперечных сечений: схема II-3 и II-4, которые отличаются уклоном откосов 1:3 и 1:2 соответственно (рис. 9.5).

На рис. 9.6 приведены температурные поля для схемы II-3 для всех трёх пунктов: п. «Р», Меррасале и Дудинки. Во всех трёх случаях температура грунтов основания достаточно низкая. Глубина сезонного протаивания составляет порядка 2,0 м. Для снижения этого значения может быть применена теплоизоляция порядка 5 см. При этом может быть применена более экономичная схема II-4.

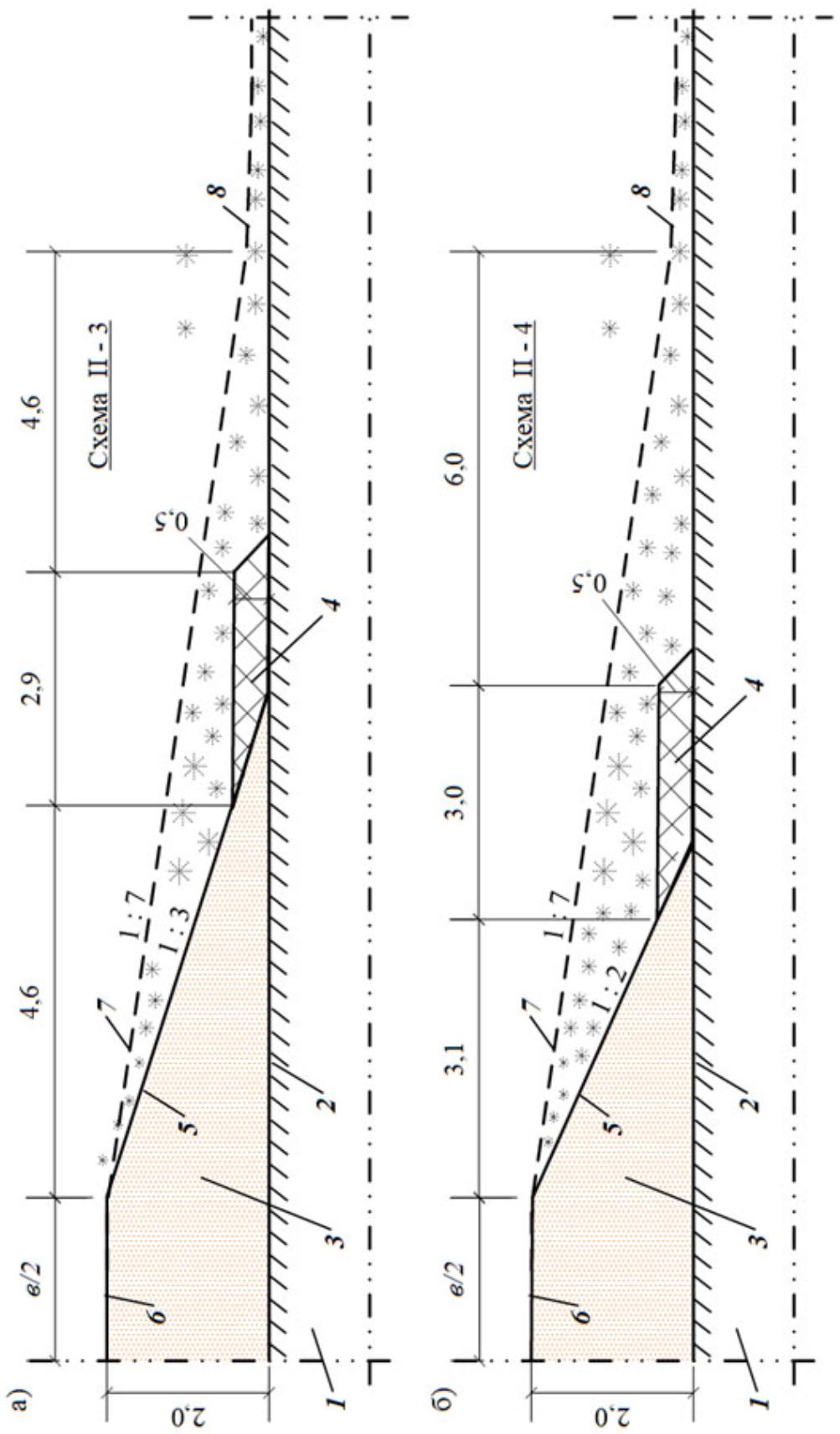


Рисунок 9.5 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 2 м для региона II: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – насыпь, 5 – откос насыпи, 6 – основная площадка насыпи, 7 – откос снежных отложений, 8 – поверхность снежных отложений в нарушенной зоне

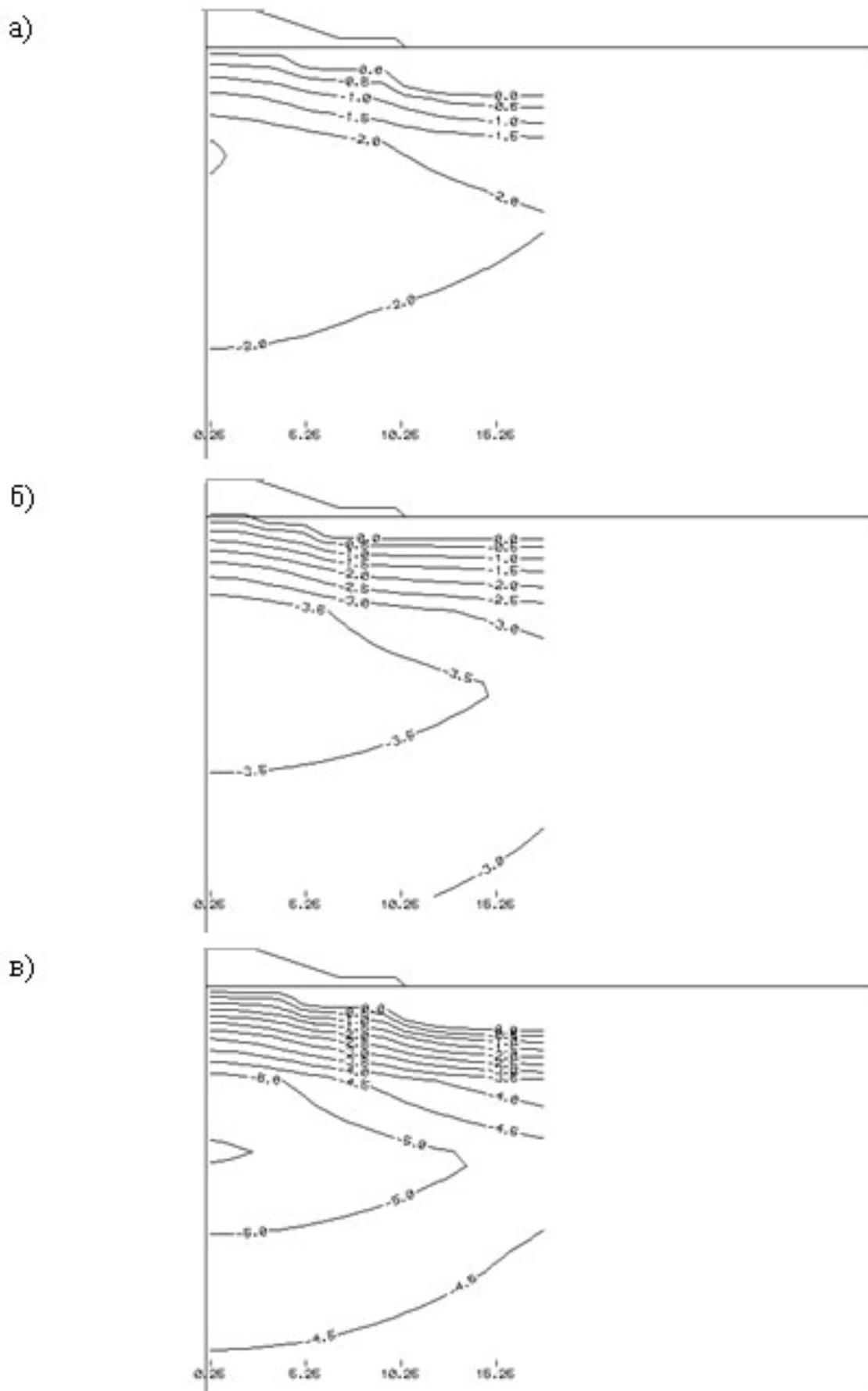


Рисунок 9.6 – Сопоставление для п. «Р» (а), Меррасале (б) и Дудинки (в) температурных полей на момент окончания тёплого периода года в установившемся состоянии. Схема II-3. Насыпь высотой 2.0 м

9.4. Насыпь высотой 6,0 м

Для насыпи высотой 6,0 м рекомендуется два вида поперечного сечения: схема II-5 и II-6. Схема II-5 была простая в строительстве, схема II-6 более экономичная (рис. 9.7 и 9.8).

На рис. 9.9 и 9.10 представлены результаты расчётов схемы II-5 соответственно без всяких мероприятий по охлаждению и с теплоизоляцией. Из этих рисунков наглядно видно, насколько с помощью теплоизоляции можно улучшить мерзлотное состояние.

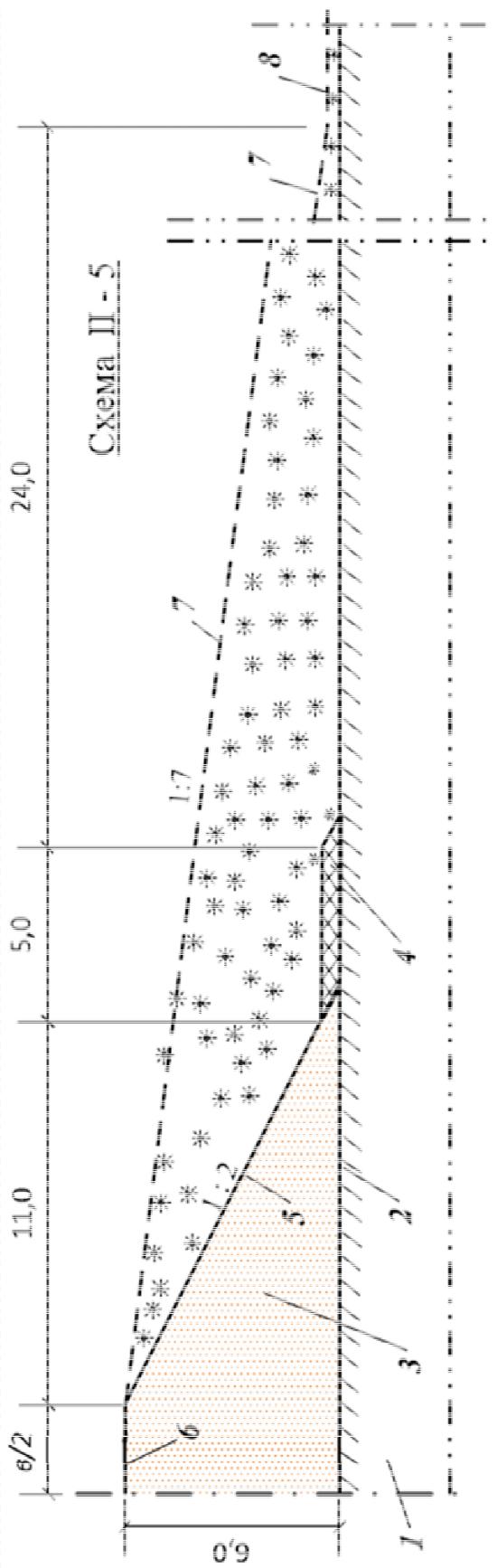


Рисунок 9.7 - Рекомендуемое поперечное сечение насыпи высотой 6 м для региона II: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – откос насыпи, 6 – основная площадка насыпи, 7 – откос снежных отложений, 8 – поверхность снежных отложений в ненарушенной зоне

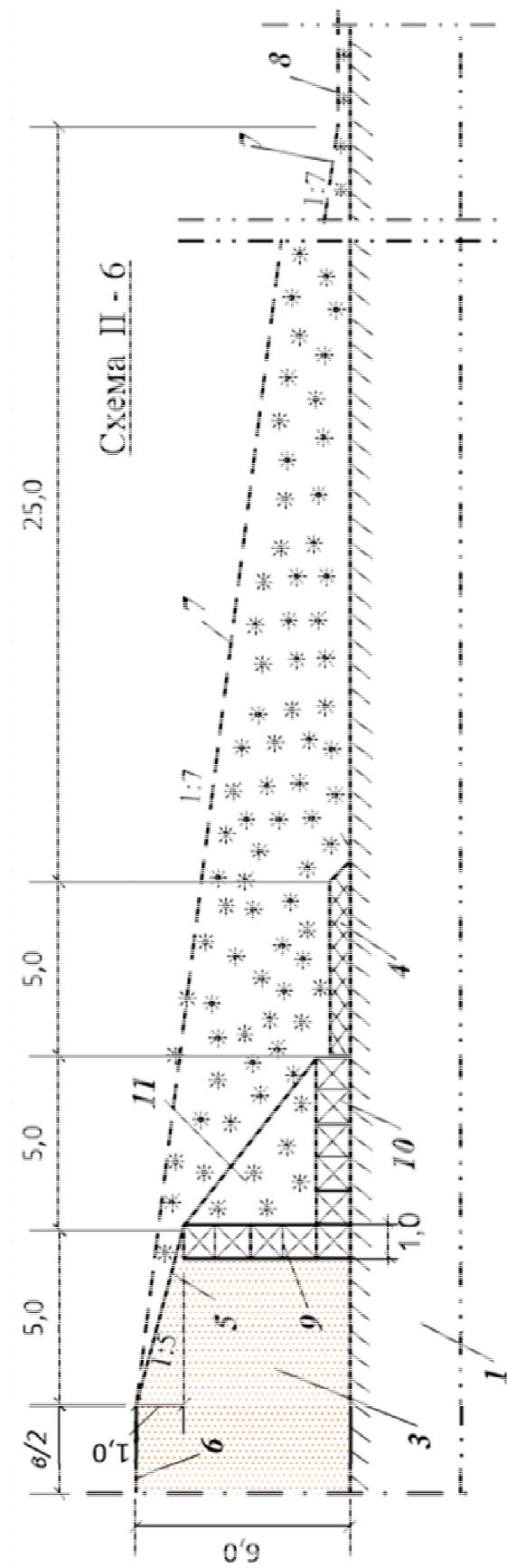


Рисунок 9.8 - Рекомендуемое поперечное сечение насыпи высотой 6 м для региона II: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – откос насыпи, 6 – основная площадка насыпи, 7 – откос снежных отложений, 8 – поверхность снежных отложений в ненарушенной зоне, 9 – стенка верхней охлаждающей плиты, 10 – опорные площадки, 11 – ребро жёсткости

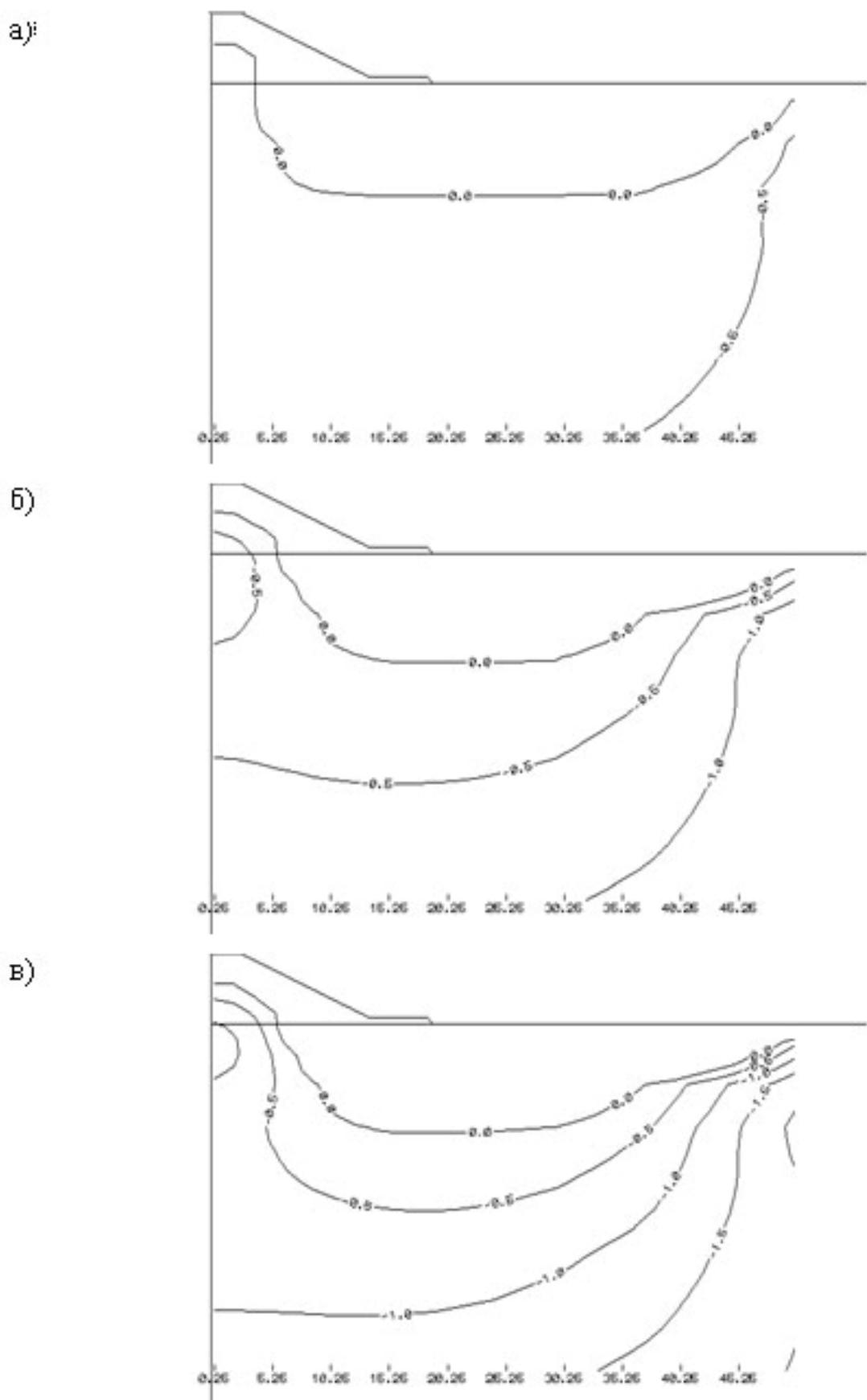


Рисунок 9.9 – Сопоставление для п. «Р» (а), Меррасале (б) и Дудинки (в) температурных полей на момент окончания тёплого периода года в установившемся состоянии. Схема II-5. Насыпь высотой 6.0 м

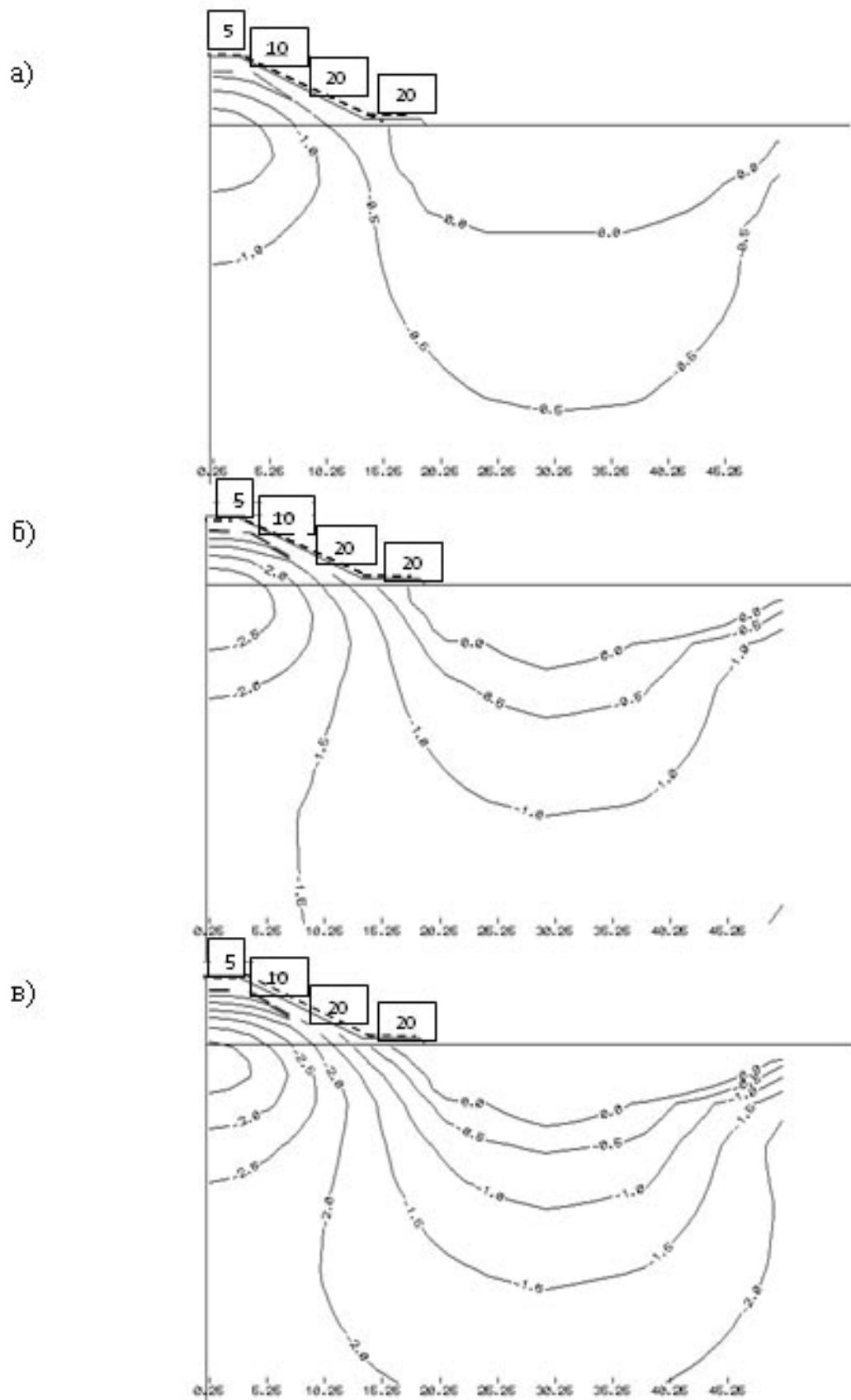


Рисунок 9.10 – Сопоставление для п. «Р» (а), Меррасале (б) и Дудинки (в) температурных полей на момент окончания тёплого периода года в установившемся состоянии. Схема II-5. Насыпь высотой 6.0 м. Теплоизоляция

10. ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В РЕГИОНЕ IV

10.1. Общие положения

Регион IV является по условиям снегозависимости промежуточным между регионами III и V. Расчётный снежный покров представлен на рис. 10.3.

При поиске рациональных конструктивных решений насыпи, необходимости и мощности теплоизоляции были проведены расчёты с учётом толщины снежных отложений в различных зонах поперечного сечения насыпи в соответствии с рис. 10.1. Методика этого учёта сформулирована в разделе 6.1.1 главы 6.

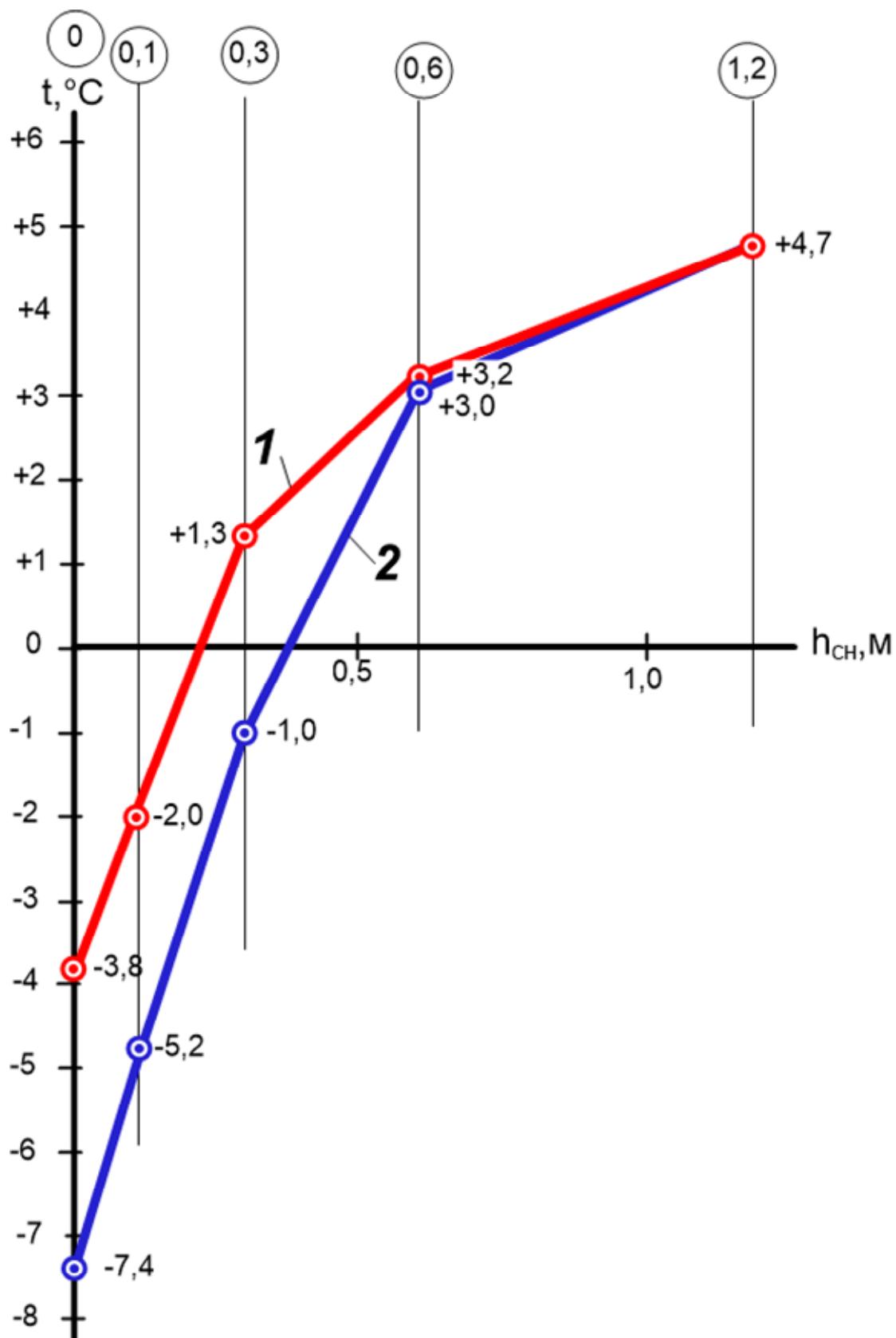


Рисунок 10.1 - Зависимость температуры грунта на глубине нулевых амплитуд от толщины снежного покрова для региона IV: 1 – для пункта «S», 2 – для Туры

10.2. Насыпь высотой 4,0 м

Для насыпи высотой 4,0 м рекомендуется два вида поперечных сечений: схемы IV-1 и IV-2 (рис. 10.2). Сечения отличаются уклоном откосов и размерами берм. При более крутом откосе получается выигрыш в объеме грунта, но потребуется больше теплоизоляции. Бермы чисто теплоизоляционные, их высота определяется размерами теплоизоляции, защитного, выравнивающего слоя или другими компонентами теплоизоляции.

На рис. 10.3 и 10.4 приведены температурные поля в установившемся состоянии при наличии и отсутствии теплоизоляции.

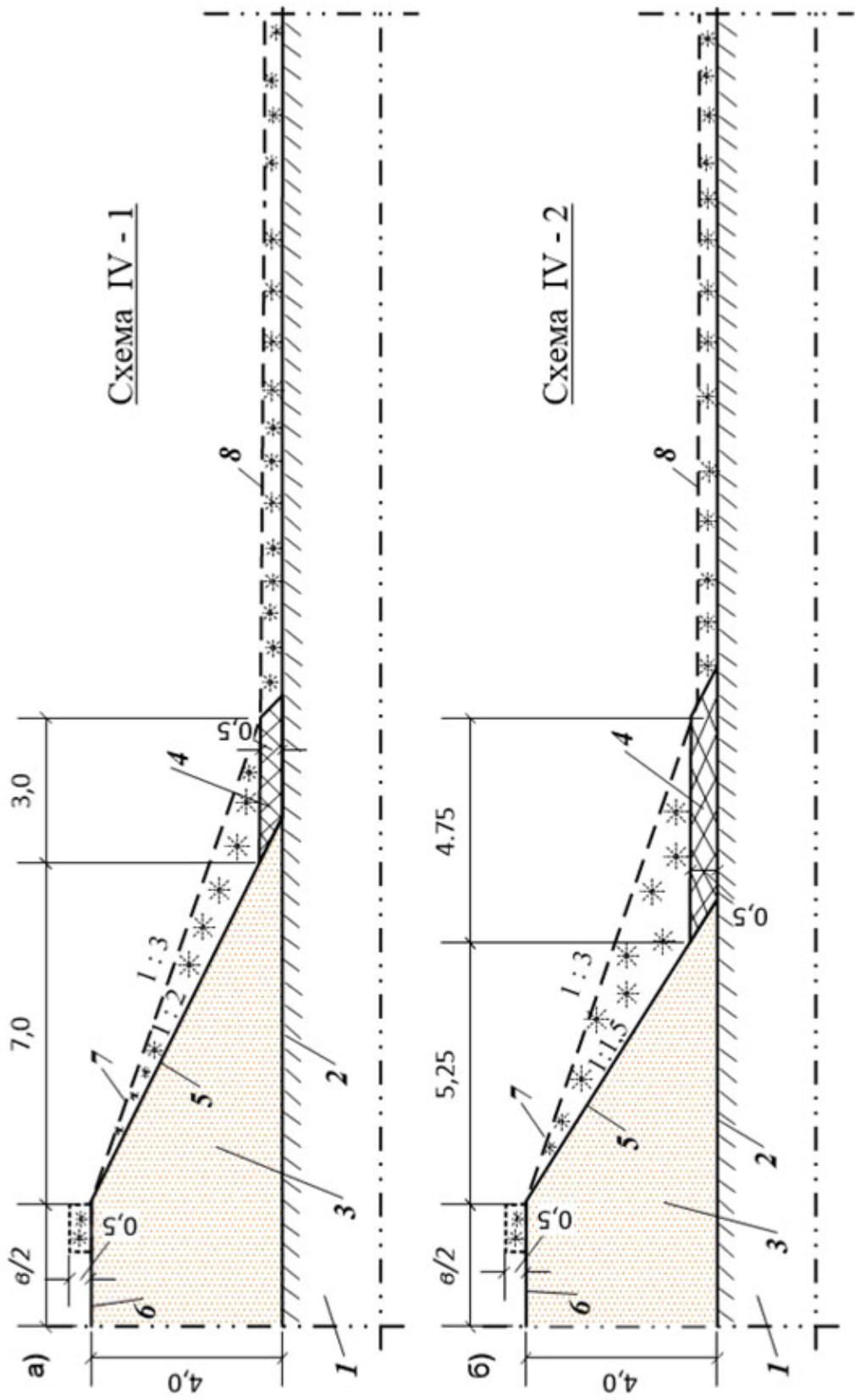


Рисунок 10.2 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 4 м для региона IV: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – откос насыпи, 6 – основная площадка насыпи, 7 – откос снежных отложений, 8 – поверхность снежных отложений в нарушенной зоне

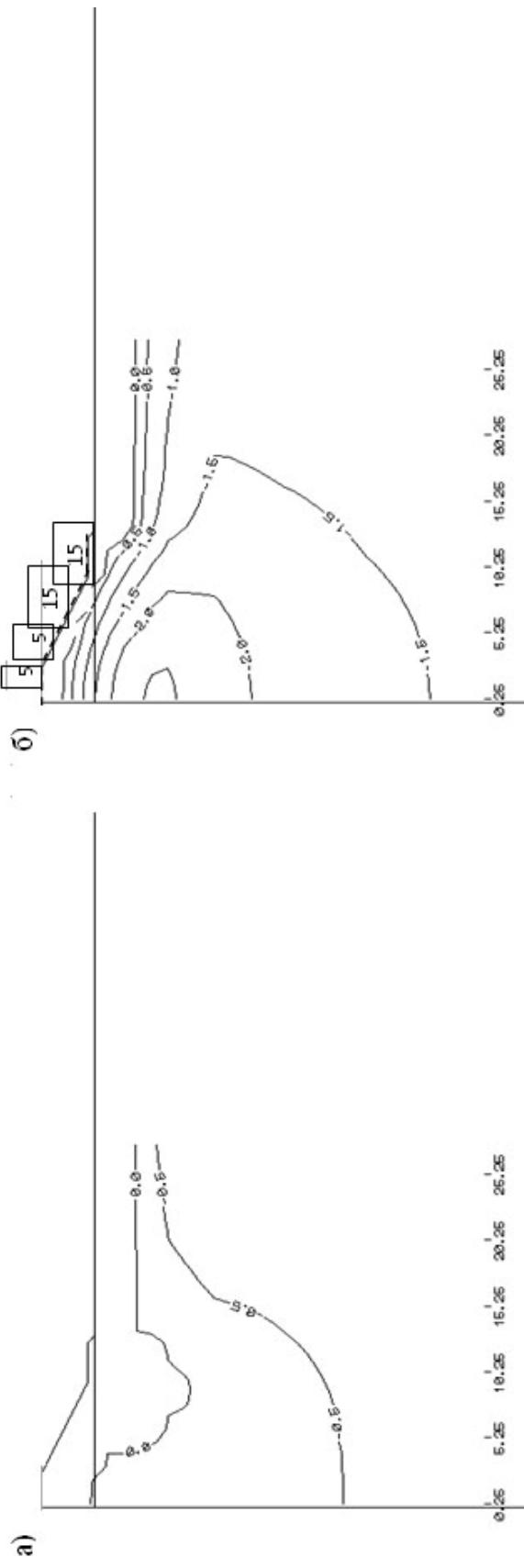


Рисунок 10.3 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме. Схема IV-1. Тура: а – без теплоизоляции; б – с теплоизоляцией (5.0 см на основной площадке и верхней 1/3 откоса, 10.0 см – на нижних 2/3 откоса и в берме)

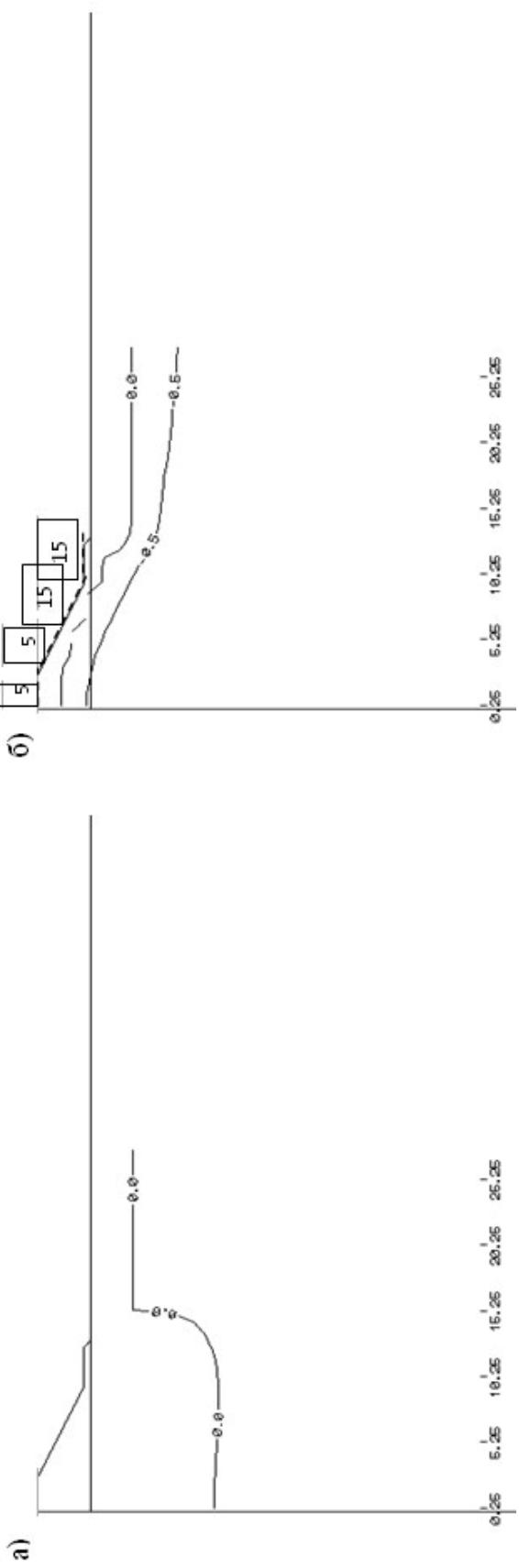


Рисунок 10.4 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме. Схема IV-1. Пункт S: а – без теплоизоляции; б – с теплоизоляцией (5.0 см на основной площадке и верхней 1/3 откоса, 15.0 см – на нижних 2/3 откоса и в берме)

10.3. Насыпь высотой 2,0 м

Для насыпи высотой 2,0 м рекомендуется два вида поперечных сечений: схема IV-3 и IV-4 (рис. 10.5). Поперечные сечения отличаются уклоном откосов и размерами берм. При более крутом откосе получается выигрыш в объеме грунта, но требуется больше теплоизоляции (так как увеличивается расчетная толщина снежных отложений). Как и в других высотах насыпи, берма чисто теплоизоляционная.

На рис. 10.6, 10.7, 10.8, 10.9 приведены температурные поля в установившемся состоянии при наличии и отсутствии теплоизоляции.

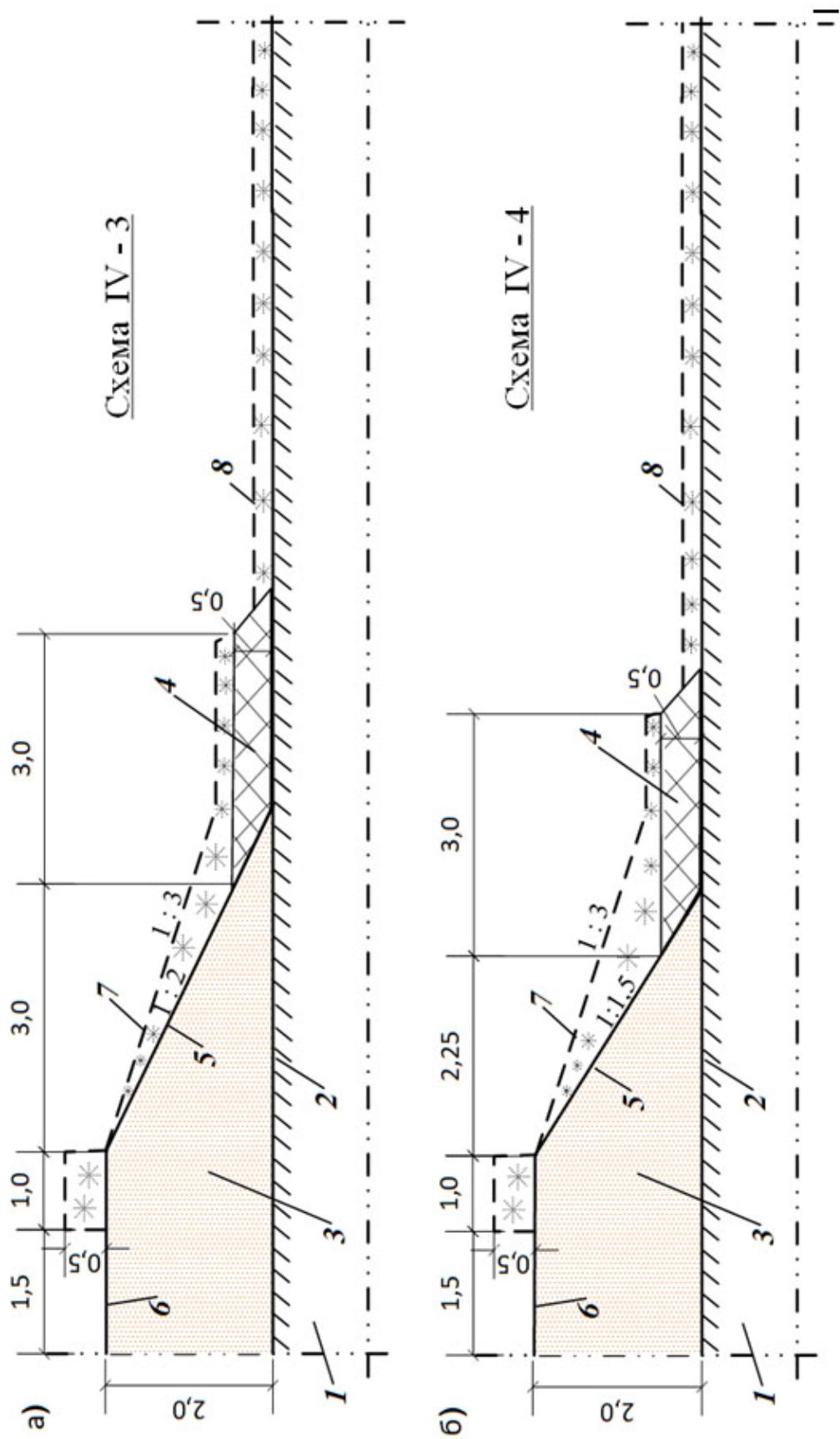


Рисунок 10.5 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 2 м для региона IV: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – откос насыпи, 6 – основная площадка насыпи, 7 – откос снежных отложений, 8 – поверхность снежных отложений в нарушенной зоне

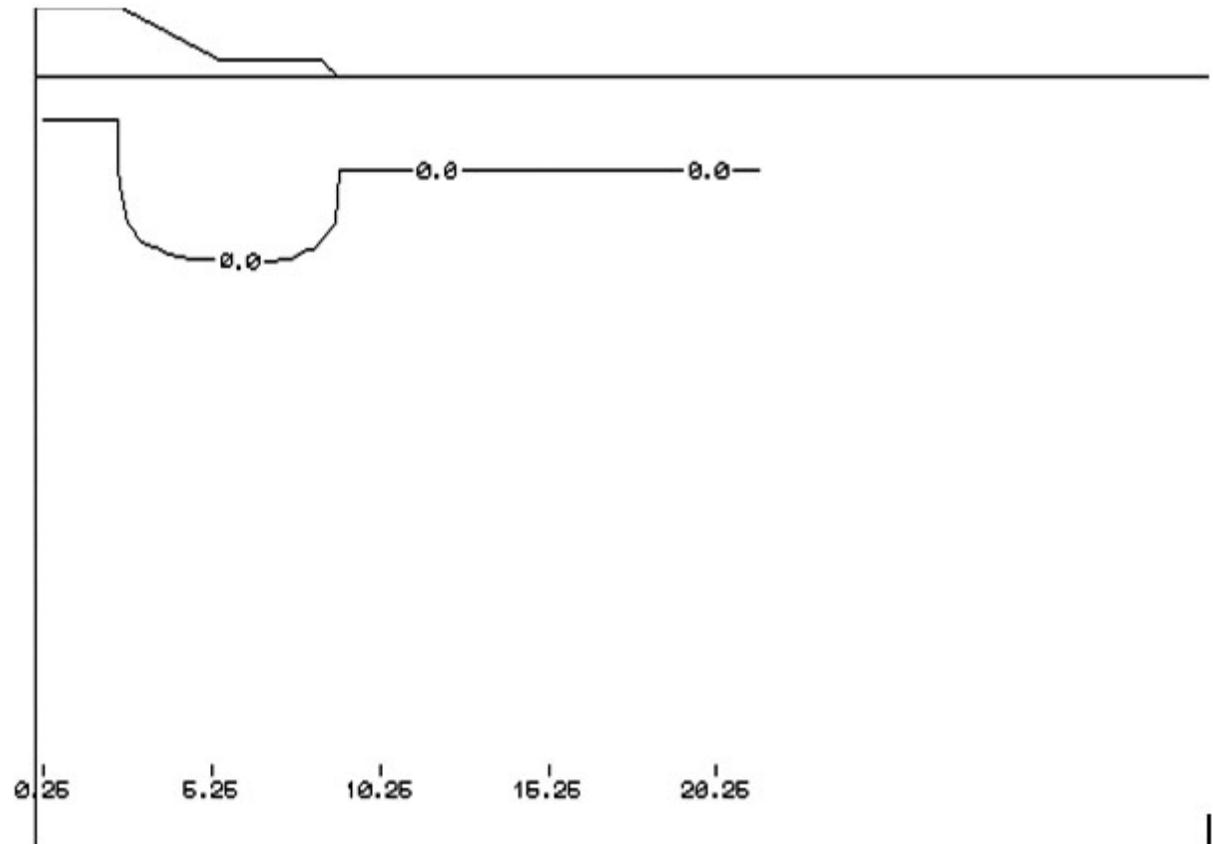


Рисунок 10.6 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установившемся режиме. Схема IV-3. Пункт S

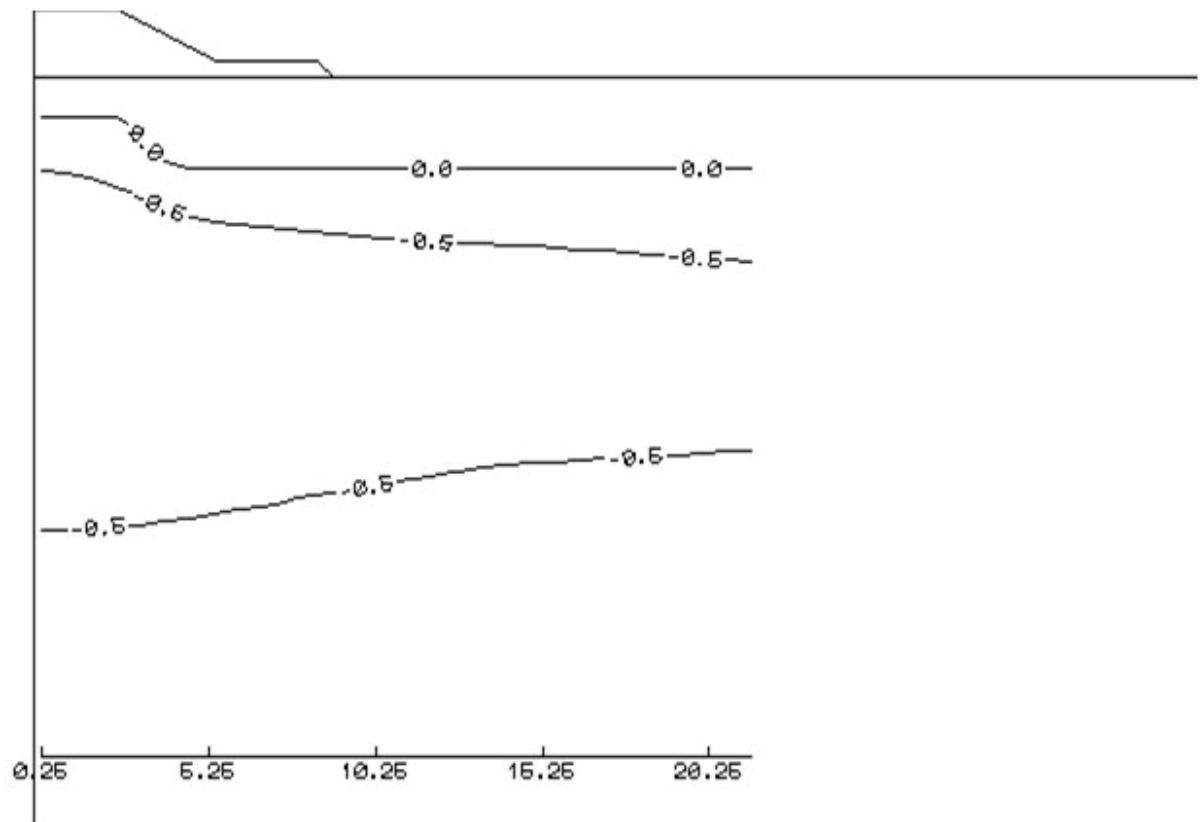


Рисунок 10.7 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установившемся режиме. Схема IV-3. Тура

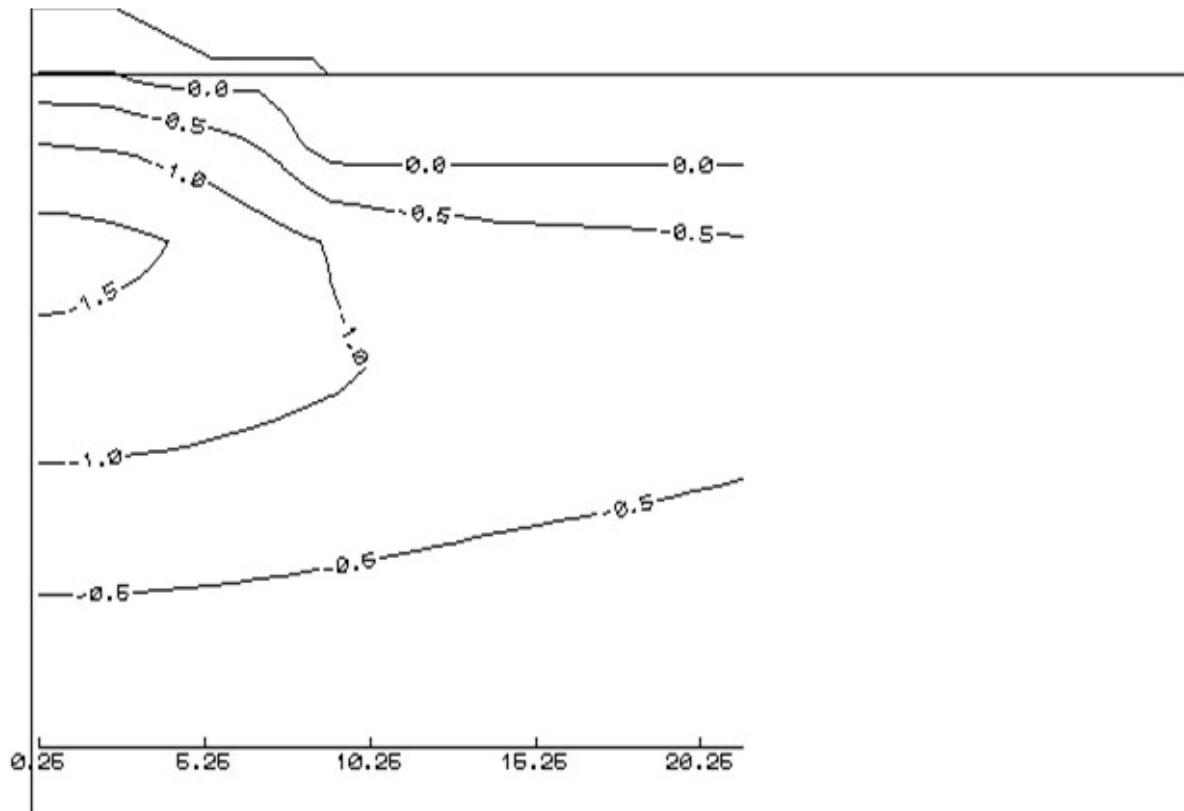


Рисунок 10.8 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установившемся режиме. Схема IV-3, теплоизоляция 5.0 см под основной площадкой и на всей поверхности откоса, 10.0 см – в берме. Тура

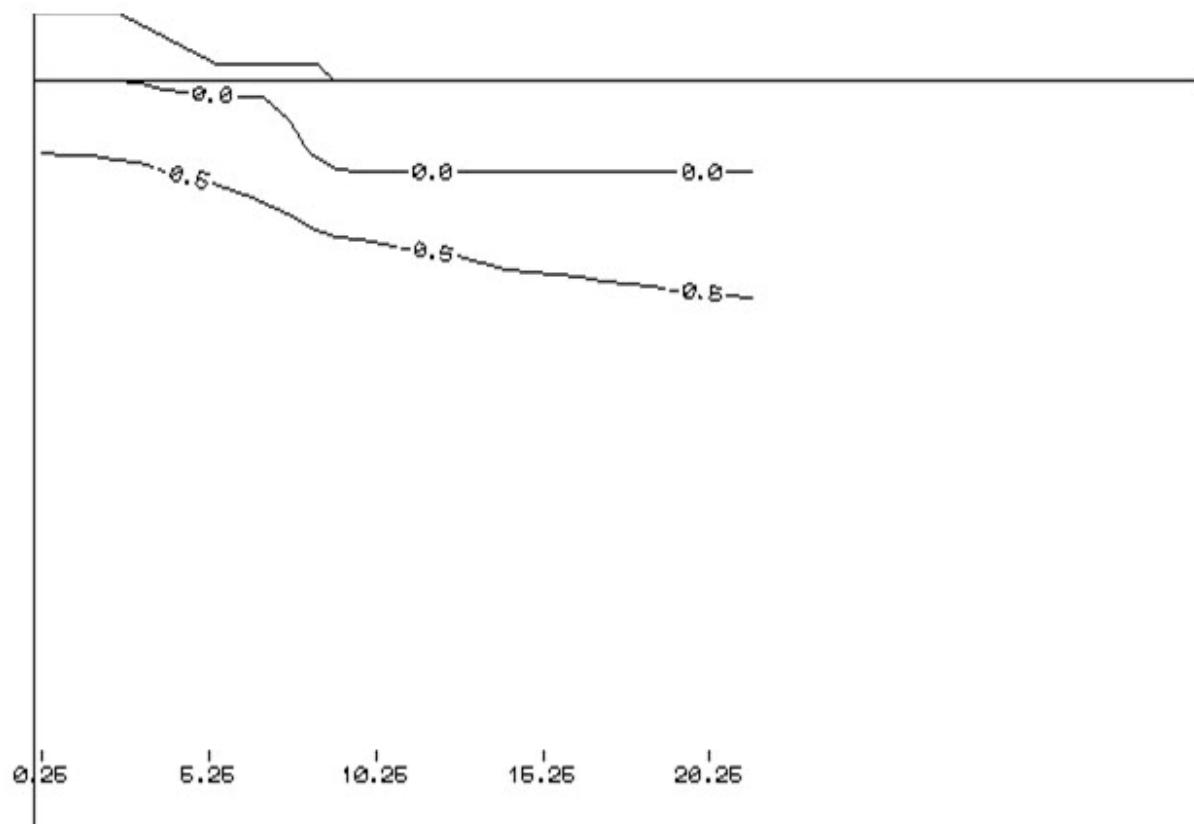


Рисунок 10.9 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установившемся режиме. Схема IV-3, теплоизоляция 5.0 см под основной площадкой и на всей поверхности откоса, 10.0 см – в берме. Пункт S

10.4. Насыпь высотой 6,0 м

Для насыпи высотой 6,0 м рекомендуется два вида поперечных сечений: схемы IV-5 и IV-6 (рис. 10.10). Сечения отличаются уклоном откосов и размером теплоизоляционных берм.

На рис. 10.11 и 10.12 приведены температурные поля в установившемся состоянии при наличии и отсутствии теплоизоляции.

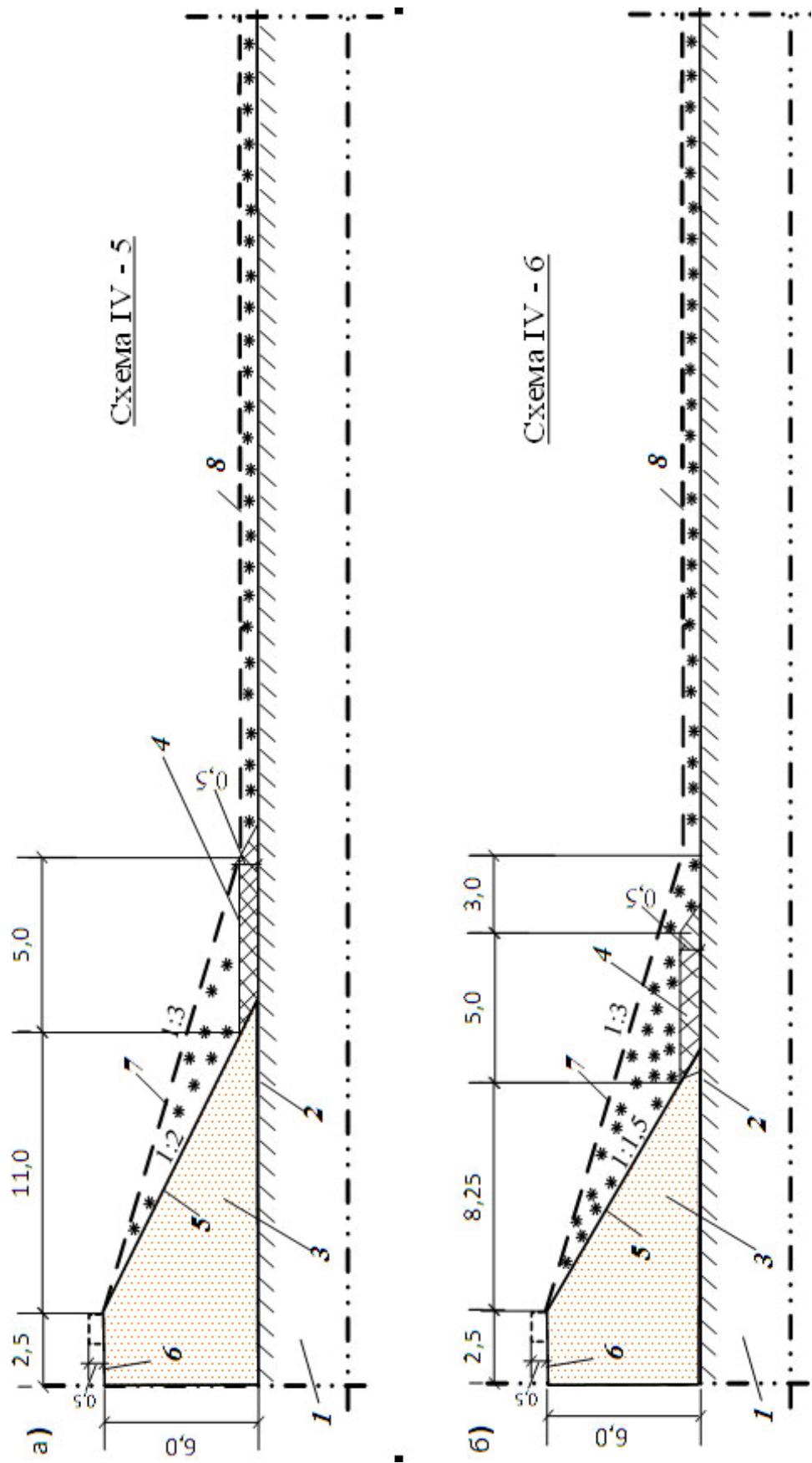


Рисунок 10.10 - Рекомендуемые поперечные сечения насыпи высотой 6 м для региона IV: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – откос насыпи, 6 – основная площадка насыпи, 7 – откос снежных отложений, 8 – поверхность снежных отложений в нарушенной зоне

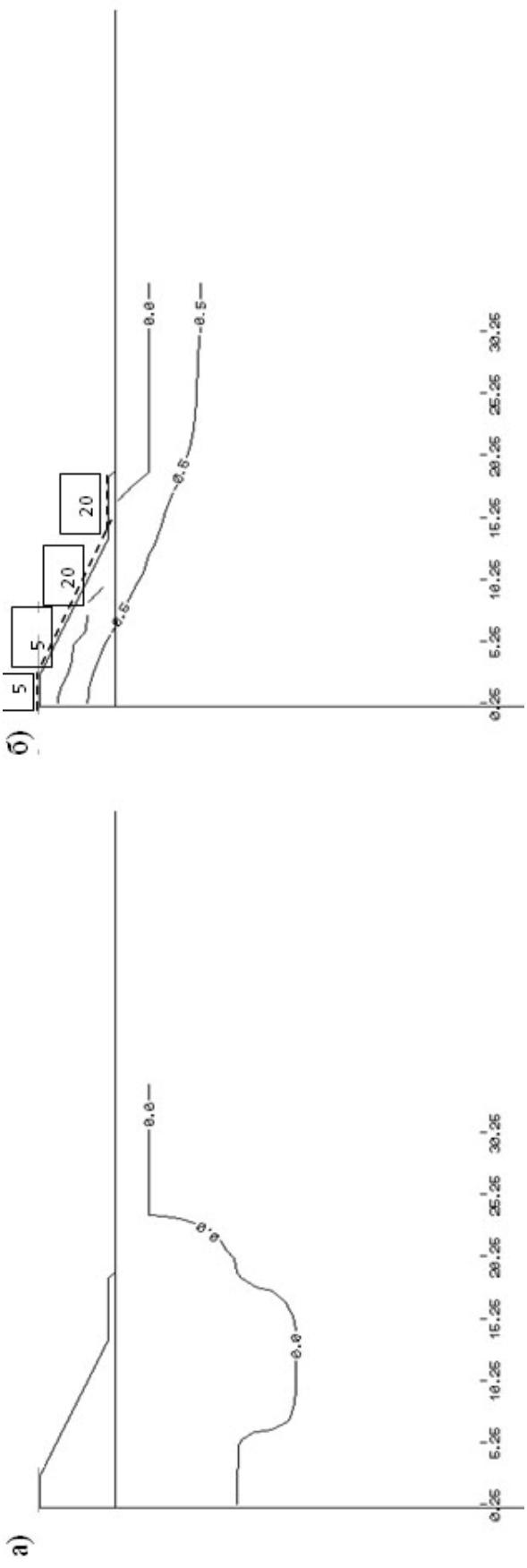


Рисунок 10.11 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме. Схема IV-5. Пункт S: а – без теплоизоляции; б – с теплоизоляцией (5.0 см на основной площадке и верхней 1/3 откоса, 20.0 см – на нижних 2/3 откоса и в берме)

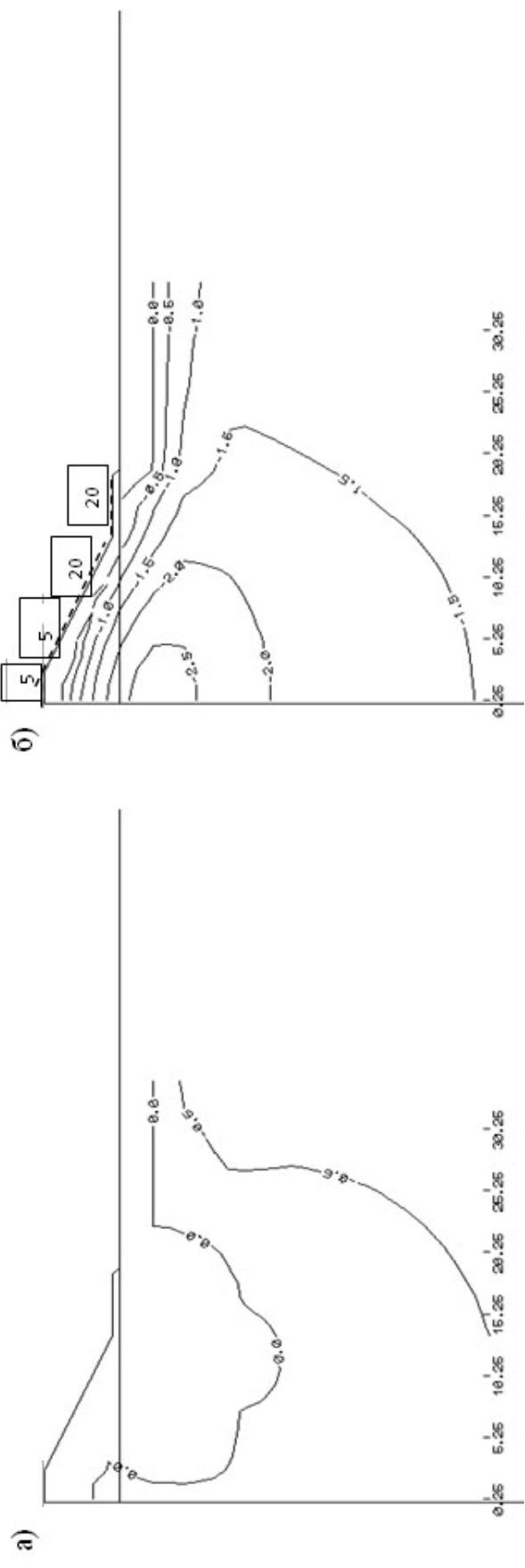


Рисунок 10.12 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме. Схема IV-5. Тура: а – без теплоизоляции; б – с теплоизоляцией (5.0 см на основной площадке и верхней 1/3 откоса, 20.0 см – на нижних 2/3 откоса и в берме)

11. ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА НАСЫПЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НА МЕРЗЛОТЕ СЛИВАЮЩЕГОСЯ И НЕСЛИВАЮЩЕГОСЯ ТИПА

11.1. Строительство на мерзлоте сливающегося типа и проблемы, возникающие при строительстве на мерзлоте несливающегося типа

Наиболее простым является случай строительства на мерзлоте сливающегося типа, когда местные мерзлотные условия и принятые мероприятия по охлаждению сразу после строительства обеспечивают расчётный температурный режим и, следовательно, ввод сооружений в эксплуатацию. Однако при строительстве земляных сооружений, таких как площадки под строительный комплекс (в пределах станционной территории) (рис. 11.1,а) или дорожная насыпь (рис. 11.1,б), приходится сталкиваться с мерзлотой несливающегося типа, то есть когда в результате сезонного промерзания остаётся в конце зимнего периода талый слой грунта. Это может быть и в случае, когда в естественных условиях изменились граничные условия на поверхности, и началась деградация мерзлоты с поверхности. Это может быть и в случае, когда высота h_c земляного сооружения превышает глубину сезонного промерзания. Это может быть и в других случаях.

Недостатки такого мерзлотного состояния грунтов следующие. Нижележащая мерзлота 6 (рис. 11.1), не имея подпитки холода сверху, начинает растепляться. При повышении температуры грунта его деформативность увеличивается, особенно при превращении грунтов в пластичномерзлые. В связи с этим зона деформации сооружения увеличивается по высоте. Процесс растепления грунтов зависит от многих факторов и характеризуется неравномерностью во времени и в пространстве. В связи с этим и деформация характеризуется неопределенностью.

На рис. 11.2 приведён пример поверхностного охлаждения талого слоя толщиной 7,0 м для Салехарда (регион III). Температура мерзлоты на

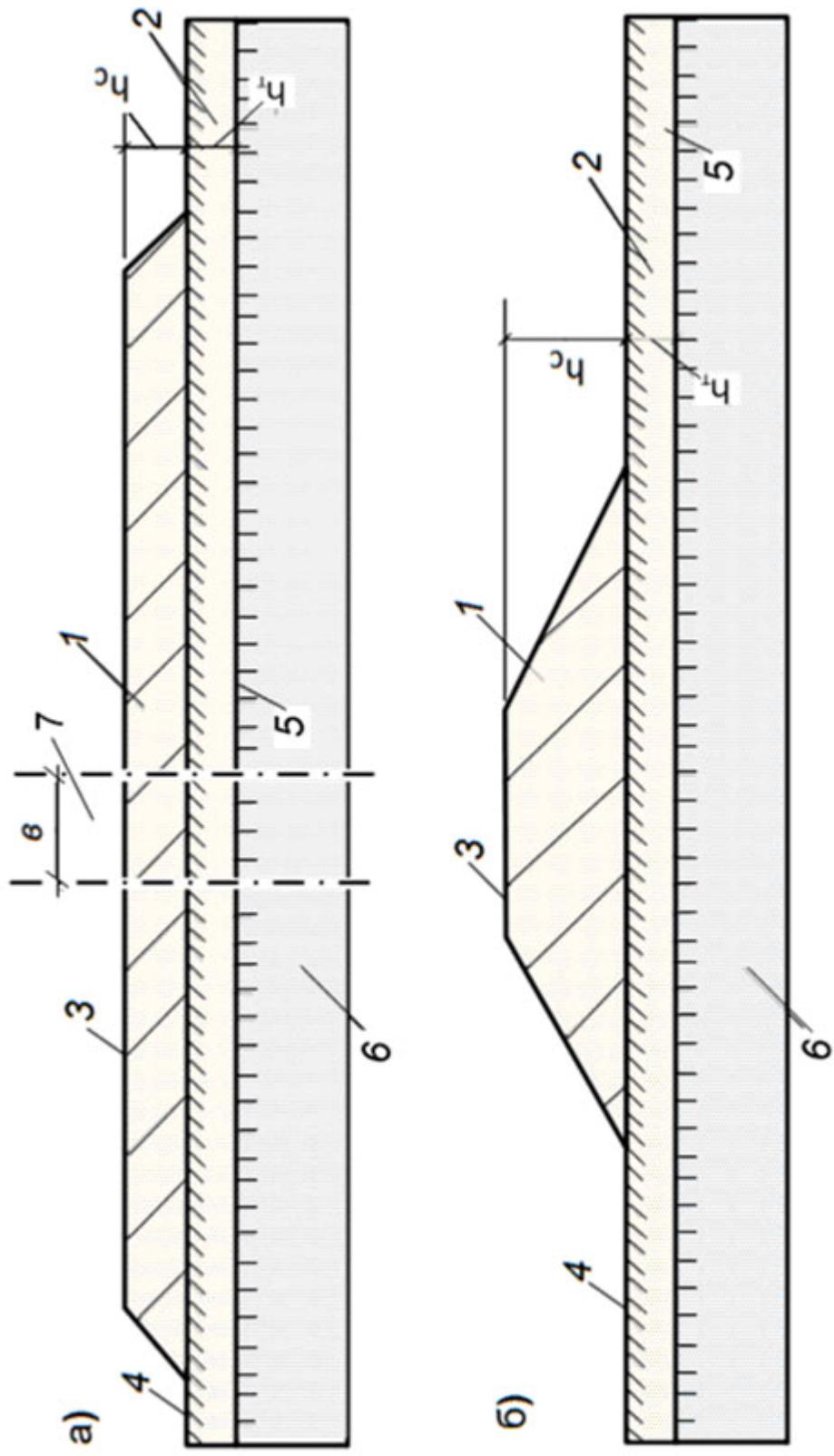


Рисунок 11.1 - Мерзлотное состояние земляного сооружения на момент окончания тёплого периода года в период окончания строительства: а – площадка под строительный комплекс, б – дорожная насыпь, 1 – тело сооружения, 2 - талый слой грунта, 3 – верхняя поверхность сооружения, 4 – естественная поверхность грунта, 5 – верхняя граница мерзлоты, 6 - мёрзлые грунты, 7 – зона одномерного теплового процесса, принятого в расчётах на рис. 2, 3, 4

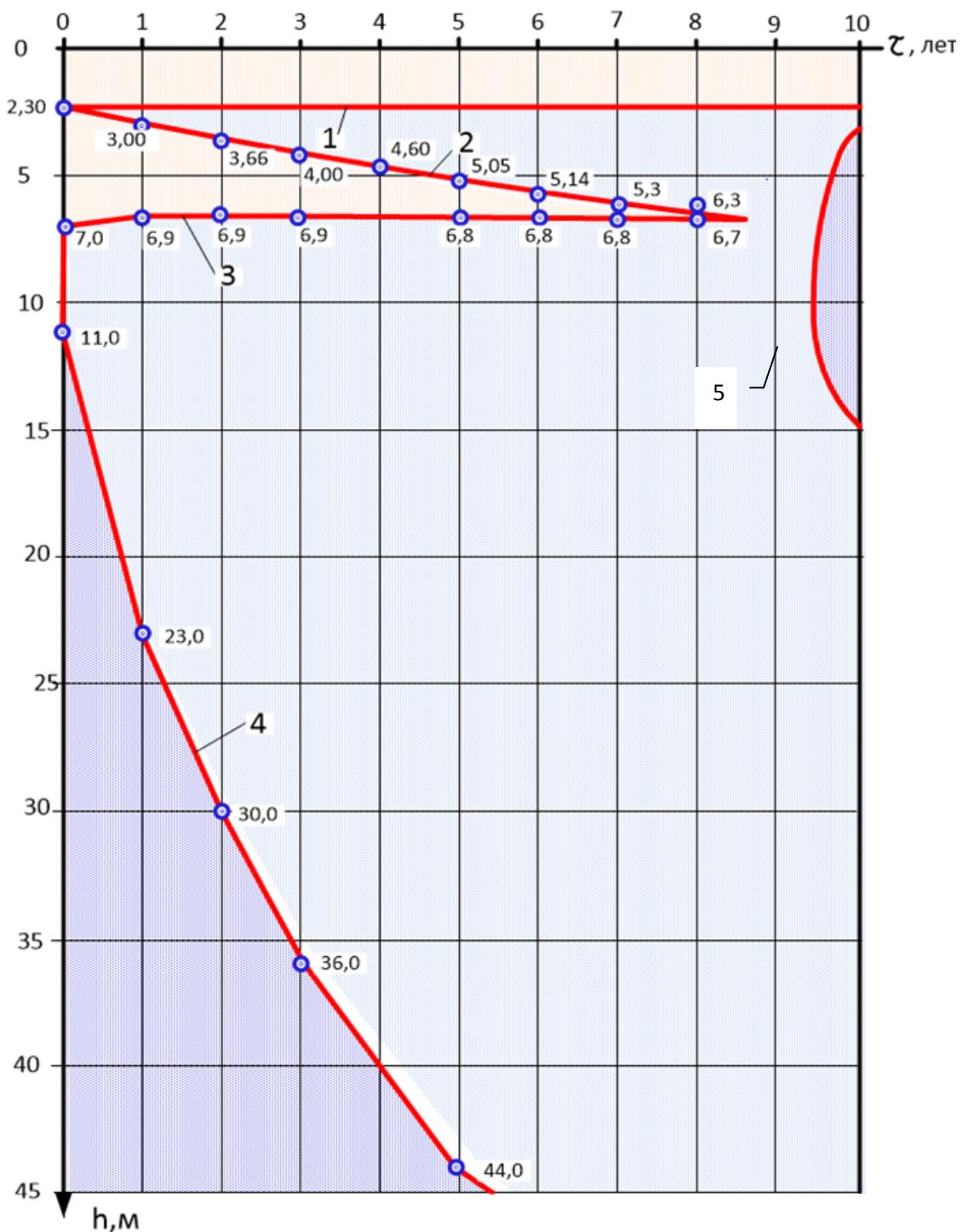


Рисунок 11.2 - Характеристика процесса смерзания талого слоя толщиной 7,0 м с нижележащей мерзлотой при её начальной температуре минус 0,56°C. Район Салехарда. Охлаждающая установка отсутствует. 1 – нижняя граница деятельного слоя, 2 – нижняя граница мёрзлой прослойки, формирующейся сверху, 3 – положение нулевой изотермы (т.е. верхней границы мерзлоты) в период смерзания талого слоя толщиной 7 м, 4 – положение изотермы с температурой минус 0,5°C, 5 – формирование изотермы минус 0,5°C после замерзания талого слоя

глубине нулевых амплитуд достаточно высокая - минус 0,56°C. Изотерма минус 0,5°C находится на глубине 11,0 м. При принятых мерах только по поверхностному охлаждению смерзание талого слоя с нижележащей мерзлотой происходит через 8,5 лет. Только после этого начинает формироваться мерзлота с температурой минус 0,5°C и ниже (позиция 5 на рис. 11.2). Что касается периода смерзания, то температура минус 0,5°C через 5 лет опустилась на 44,0 м, а вся зона выше 44,0 м имеет температуру выше указанной и поэтому сильно деформируется.

Рассмотрим три возможных способа стабилизации температурного режима грунтов основания и тела сооружения на мерзлоте несливающегося типа:

- способ поверхностного охлаждения;
- способ глубинного замораживания талого слоя;
- способ глубинного поддержания температуры нижележащие мерзлоты.

11.2. Способ поверхностного охлаждения

На рис. 11.3 рассмотрена отдельно вертикальная колонка грунтов шириной «в» (рис. 11.1,а), в которой имеет место одномерный тепловой процесс по глубине.

В момент окончания строительства тело сооружения 1 расположено на естественной поверхности 2 грунтов основания, которое содержит слой 3 высотой « h_T » и нижележащие грунты 4. На момент окончания строительства во время окончания тёплого периода года тело сооружения 1 и слой 3 находятся в талом состоянии, а грунты 4 – в мёрзлом.

На рис. 11.3,а предусмотрено поверхностное охлаждение. Потоки холода 8, формируемые в связи с отрицательной среднегодовой температурой воздуха, направлены вниз через внешнюю поверхность 7 в тело земляного сооружения 1. В результате постепенно замораживается

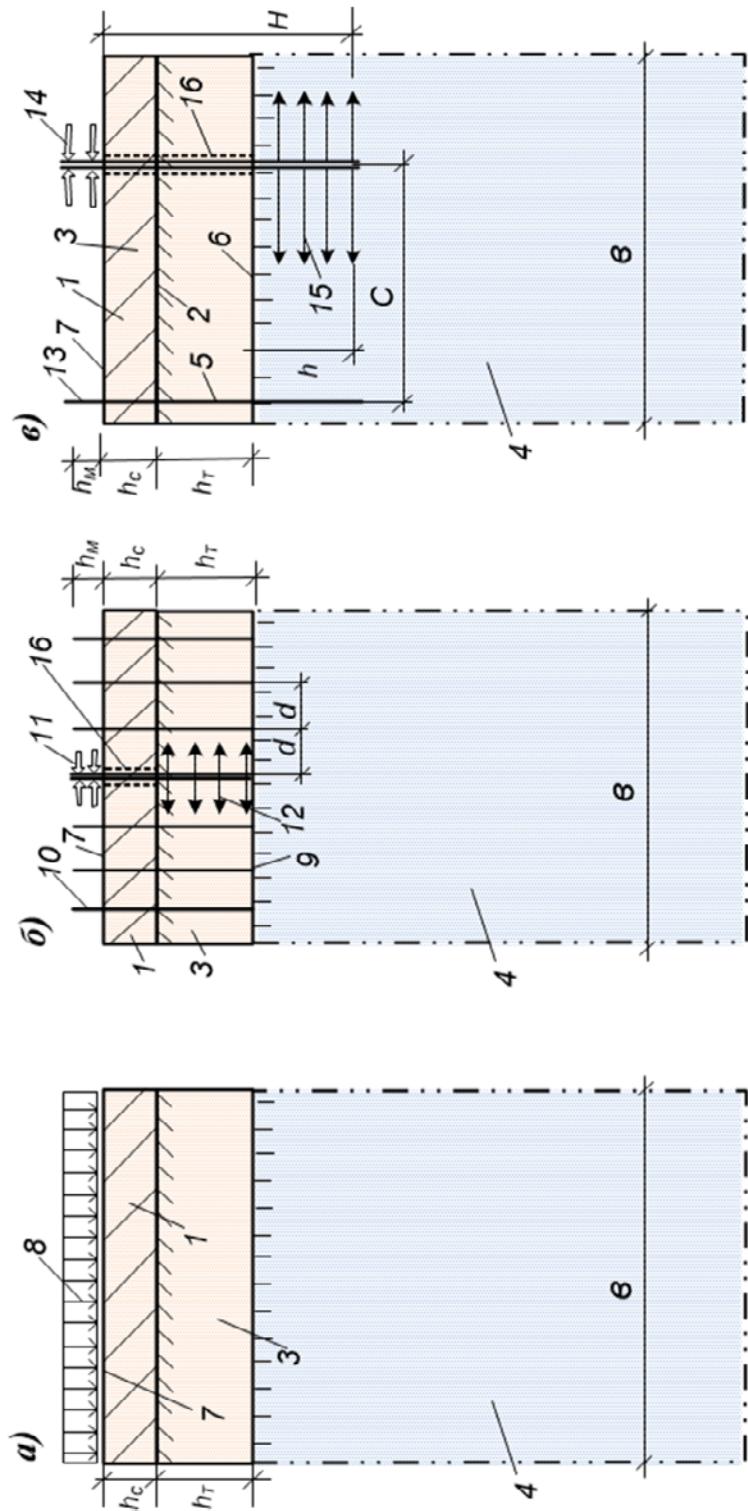


Рисунок 11.3 - Принципиальные схемы возведения сооружений в зоне вечной мерзлоты при наличии мерзлоты несливающегося типа в момент окончания строительства: а – схема глубинного охлаждения, б – схема глубинного замораживания галого слоя, в – схема глубинного охлаждения нижележащей мерзлоты, 1 – тело сооружения, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – талый слой грунта, 4 – мёрзлые грунты, 5 – термоопора (термостабилизатор) глубинная, 6 – верхняя граница мерзлоты, 7 – верхняя поверхность сооружения, 8 – поверхностное охлаждение, 9 – замораживающие термостабилизаторы, 10 – надземная часть термостабилизатора 9, 11 – поток холода в надземную часть термостабилизатора, 12 – поток холода в грунт из термостабилизатора 9, 13 – надземная часть термостабилизатора 5, 14 – поток холода в надземную часть термостабилизатора 15 – то же, в грунт, 16 – теплоизоляция

сначала тело сооружения 1, затем слой 3. Но это происходит медленно, иногда много лет. Более того, нижележащая мерзлота 4 за это время растепляется, поскольку круглый год граничным условием сверху для массива 4 является температура замерзания. Сверху холод будет поступать в массив 4 только после полного замерзания слоя 3. Растеплённые грунты 4 становятся пластичномёрзлыми, т.е. деформируемыми. В связи с этим деформируемый слой превышает $\delta = h_C + h_T$. Поэтому для прекращения деформации требуется ещё несколько лет для понижения температуры верхней части массива у грунтов 4.

Таким образом, схема на рис. 11.3,а (поверхностное охлаждение) при мерзлоте несливающегося типа требует после строительства насыпи выстойки много лет до ввода в эксплуатацию. Поэтому следует рассмотреть схемы глубинного охлаждения, которые практически сразу обеспечивают ввод сооружения в эксплуатацию.

11.3. Способ глубинного замораживания талого слоя

На рис. 11.3,б представлен способ, в котором недостаток предыдущего решения устранён. Для охлаждения применены термостабилизаторы 9, которые заглублены на всю величину $\delta = h_C + h_T$. Замораживание грунтов происходит за один зимний сезон. Для этого расстояния «d» между термостабилизаторами назначают по расчёту (обычно 1,5÷2,5 м). Холод поступает из атмосферы в надземную часть 10 термостабилизатора по направлению 11, а в грунт уходит по направлению 12. Существенной характеристикой способа является то, что замораживание зоны 3 требует большого количества энергии, так как необходимо грунт перевести из одного фазового состояния в другое.

11.4. Способ глубинного поддержания температуры нижележащей мерзлоты

В этом техническом решении не затрачивается энергия на перевод грунта из одного фазового состояния в другое, а поддерживается мёрзлое состояние нижележащей толщи 4.

Охлаждающая система выполнена в виде сезоннодействующих вертикальных трубчатых охлаждающих установок 5. Это могут быть термоопоры, основанные на конвекции воздуха, или парожидкостные термостабилизаторы. Охлаждающие установки заглублены в мёрзлые грунты 4 ниже верхней границы мерзлоты 6 на величину « h », при этом общая глубина погружения, считая от внешней поверхности 7 земляного сооружения составляет $H = h_C + h_T + h$, м. Расстояние «С» между установками назначается по формуле

$$C = 2 k \cdot h, \text{ м},$$

где: $0,75 \leq k \leq 1,25$, б/р.

Холод поступает из атмосферы в надземную часть 13 термостабилизатора 5 по направлению 14, а в грунт уходит по направлению 15. При этом следует учитывать, что для того, чтобы перевести 1м³ грунта из талого состояния в мёрзлое нужно порядка 25000 килокалорий (предыдущий способ), а чтобы мёрзлый грунт охладить на 1°C нужно порядка 600 ккал, т.е. в 50 раз меньше (данное техническое решение). Поэтому условно стрелки 12 сделаны короче, а стрелки 15 сделаны длиннее (поскольку одинаковые запасы холода в одном случае проникает на 1,0÷1,5 м по радиусу, а в другом - на величину радиуса $R \approx h$).

Эффективность может быть повышена, если исключить потери холода на высоте « δ », применив теплоизоляцию 16 на этой высоте.

Глубину « h » погружения охлаждающей установки следует назначать из следующих двух условий. Во-первых, следует учитывать характер мерзлоты. Если более половины « h » составляют пластичномёрзлые грунты (в них переход из талого состояния не закончен), то $k = 0,75$. Если пластичномёрзлые грунты составляют менее 15%, то $k = 1,25$. Из этих условий в высоту « h » целесообразно назначать так, чтобы пластичномёрзлые грунты составляли бы не более $0,4h$.

Второе условие определяется требованием не загромождать верхнюю поверхность земляного сооружения элементами охлаждающих систем. В данном случае в предлагаемом техническом решении расстояние « C » между охлаждающими установками во много раз превышает расстояние « d » в случае рис. 11.3,б. Это расстояние можно увеличить за счёт увеличения « h ». Кроме того, при этом расстоянии становится целесообразным применять не термостабилизаторы, а термоопоры, которые в себе совмещают функции охлаждения и контроля (они являются одновременно и термоскважинами). Термоопоры обладают ещё одним важным свойством: имеются варианты с горизонтальным теплообменником. А в этом случае вообще внешняя поверхность земляного сооружения становится свободной.

Техническое противоречие, которое возникало при применении предыдущего способа (рис. 11.3,б), характеризовалось следующим. Попытка быстрее заморозить талый слой приводили к увеличению количества термостабилизаторов, надземная часть которых загромождала внешнюю поверхность земляного сооружения. Для осуществления возможности эксплуатации необходимо было через 1-2 года убирать термостабилизаторы, и заменять и её другой системой, например поверхностной. В данном техническом решении отказались от заморозки талого слоя, а основное внимание уделяется сохранению и понижению температуры нижележащей мерзлоты, что обеспечивает ограничение области деформации только талым слоем. Земляное сооружение рассчитывается из грунтов талых на жёстком подстилающем слое. Тем не менее, постоянно снизу идёт замораживание талого слоя, и устойчивость земляного сооружения по времени улучшается без применения дополнительного поверхностного охлаждения. Однако применение поверхностного охлаждения позволяет существенно ускорить процесс или учесть глобальное потепление. Предложенное техническое решение позволяет земляное сооружение ввести в эксплуатацию сразу после строительства. Возведение земляного сооружения из талых грунтов позволяет более качественно произвести отсыпку. Кроме того, открывает путь к способам сооружения, которые осуществляются только тальми грунтами, например, намыв земляного сооружения способом

гидромеханизации, который в области распространения вечной мерзлоты весьма перспективен в связи с бездорожьем и наличием большого количества водоёмов. Обжатие талого слоя грунтов основания происходит летом, поэтому основная часть деформации происходит уже во время строительства. А другие деформации, например, в результате ползучести, происходят медленно. Но постепенное замерзание талого слоя эти деформации предотвратит. Другими словами, все деформации происходят во время строительства, сооружение вводится в эксплуатацию сразу, а далее идёт постепенное упрочнение земляного сооружения.

На рис. 11.4 представлен температурный режим того же случая, что и на рис. 11.2 (то есть поверхностного охлаждения), но добавлены термостабилизаторы с глубиной погружения 12,0 м и расстоянием между собой 10,0 м. Из рисунка видно, что время смерзания уменьшилось на 3 года, и изотерма минус 0,5°C не ушла на 44 м, а поднялась на 3-4 м. Другими словами, до момента смерзания мерзлотное состояние только улучшалось.

11.5. Сопоставление двух способов глубинного охлаждения

На рис. 11.5 приведён пример сопоставления затрат термостабилизаторов для двух технических решений глубинного охлаждения. В обоих случаях рассматривается площадка под строительный

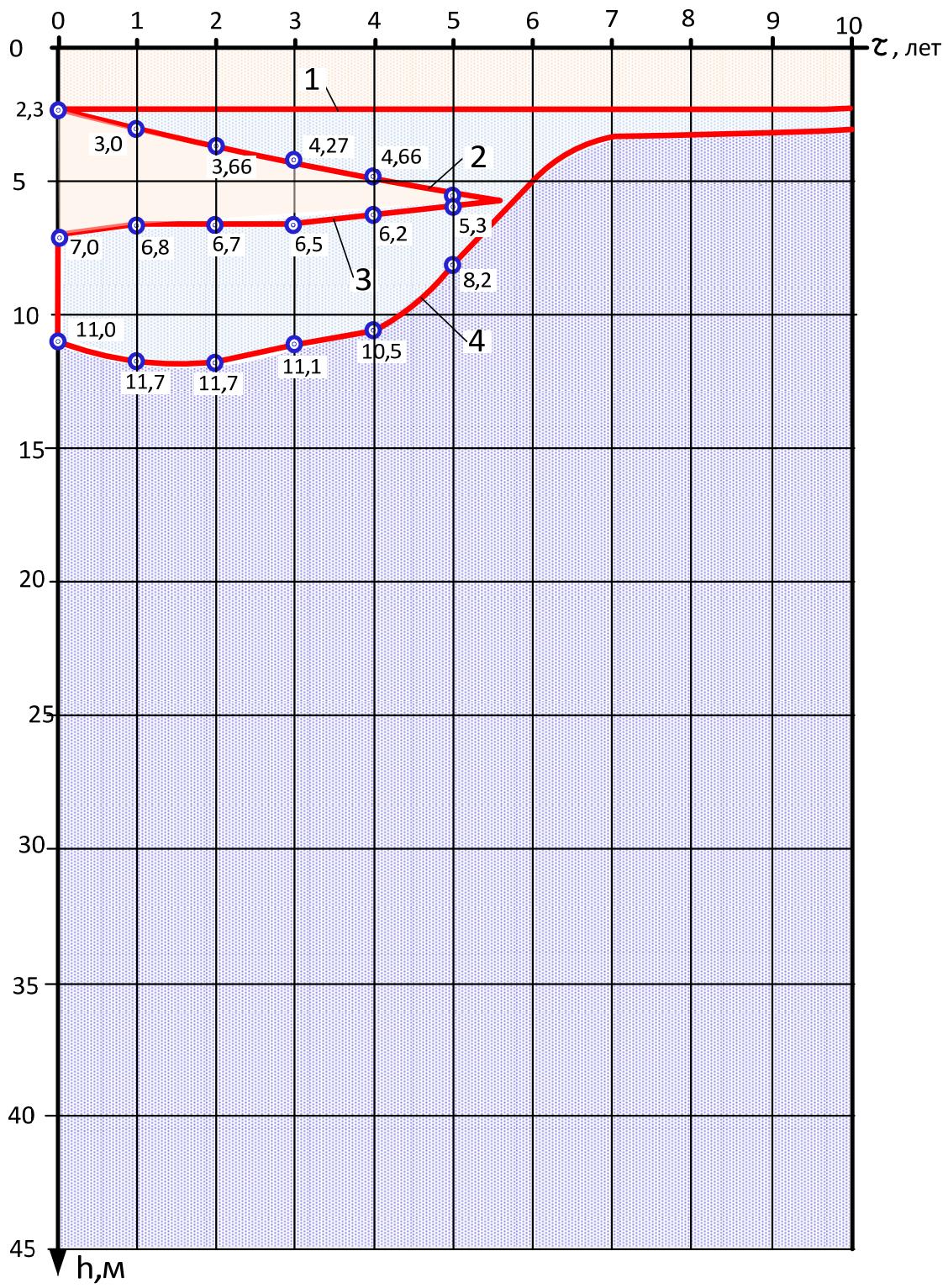


Рисунок 11.4 - Характеристика процесса смерзания талого слоя толщиной 7,0 м с нижележащей мерзлотой при её начальной температуре минус $0,56^{\circ}\text{C}$. Район Салехарда. Наличие охлаждающего устройства. 1 – нижняя граница деятельного слоя, 2 – нижняя граница мёрзлой прослойки, формирующейся сверху, 3 – положение нулевой изотермы (т.е. верхней границы мерзлоты) в период смерзания талого слоя толщиной 7 м, 4 – положение изотермы с температурой минус $0,5^{\circ}\text{C}$

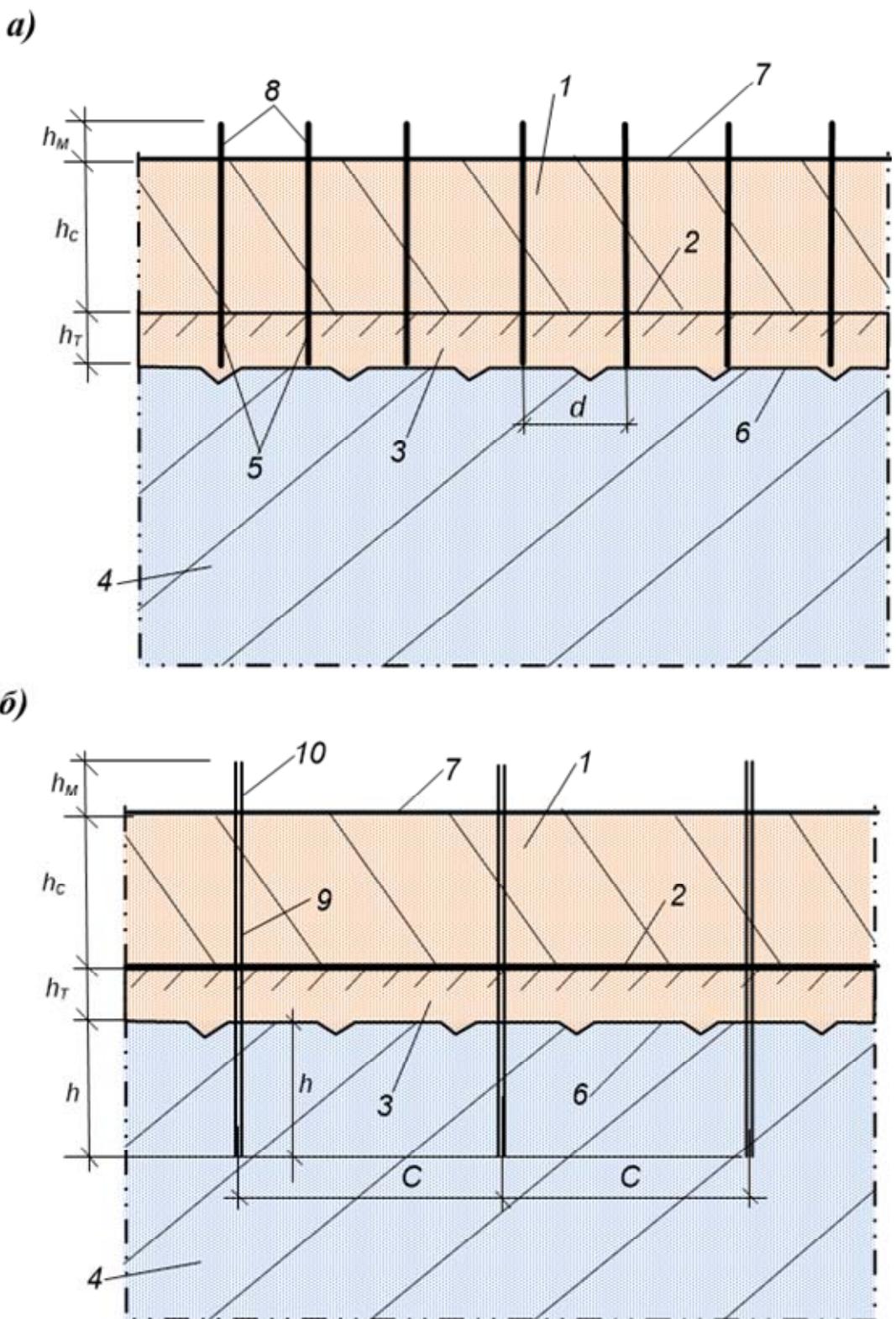


Рисунок 11.5 - Пример сопоставления затрат термостабилизаторов для двух технических решений: а – по рис. 3б, б – по рис. 3в, 1 – тело сооружения, 2 – естественная поверхность грунта, 3 - талый слой грунта, 4 - мёрзлые грунты, 5 - замораживающий термостабилизатор, 6 – верхняя граница мерзлоты, 7 – верхняя поверхность сооружения, 8 – надземная часть термостабилизаторов, 9 – термоопора (термостабилизатор), 10 – надземная часть термоопор 9

комплекс на станции, намытая способом гидромеханизации в летний период. Высота площадки $h_C = 5,0$ м, толщина деятельного слоя $h_T = 2,0$ м, глубина погружения термостабилизатора мерзлоту $h = 5,0$ м, высота теплообменника по схеме рис. 11.3,б $h_M = 1,5$ м, а по схеме рис. 11.3,в $h_M = 2,0$ м. Общая длина термостабилизатора в первом случае равна 8,5 м, во втором случае 14 м. В плане для охлаждения на один термостабилизатор в предлагаемом техническом решении длиной 14,0 м приходится 15 термостабилизаторов длиной 8,5 м, т.е. 153, 0 п.м., что в 11 раз больше! Кроме того, в предлагаемом техническом решении расстояния «С» между термостабилизаторами равно 10 м (в предыдущем техническом решении 2,5 м), что позволяет осуществлять проезд и возводить надземные сооружения. Тем более, что теплообменники при применении не термостабилизаторов, а термоопор возможно располагать горизонтально в уровне с поверхностью 7.

11.6. Сочетание поверхностного и глубинного охлаждений

На основе материала, изложенного в п. 11.1-11.5 может быть намечены следующие три схемы строительства земляных сооружений в области мерзлоты несливающегося типа по первому принципу (то есть с восстановлением мерзлоты в грунтах основания и тела сооружения).

Первая схема (рис. 11.3,а) основана на применении поверхностного охлаждения. В этом случае на поверхности самого сооружения и прилегающей территории формируются мероприятия по охлаждению: развиваются элементы поверхности, оголённые зимой от снега, применяется тепловые диоды, теплоизоляция и т.д. В результате в процессе эксплуатации сооружения постепенно происходит замерзание талого слоя и образование мерзлоты сливающегося типа. Недостатком этой схемы является медленность процесса замерзания - он может длиться много лет. За это время растяпляется нижележащие мерзлота, и зона деформации по вертикали резко возрастает. Поэтому данная схема как самостоятельная применима при небольших толщинах талого слоя (1,0–1,5 м).

Вторая схема рис. 11.3,б основана на принципе глубинного замораживания талого слоя, например, парожидкостными термостабилизаторами. При

благоприятном стечении обстоятельств замораживание можно осуществить за один зимний сезон. Недостатки данной схемы:

- большой расход термостабилизаторов (они устанавливаются на всю глубину талого слоя, а в плане – через 1,5–2,5 м друг от друга);
- не везде они могут быть установлены (снежные заносы в зоне сооружений достигают иногда 2-3 м и полностью закрывают теплообменники);
- теплообменники термостабилизаторов над поверхностью земли выступают на 1,0–1,5 м по высоте и при расстоянии между собой 1,5–2,5 м загромождают территорию.

Третья схема (рис. 11.3,в) основана на принципе поддержания температуры нижележащей мерзлоты. Несущая способность сооружения рассчитывается, исходя из условия стабильности нижележащей мерзлоты и талого состояния грунтов вышележащих слоёв. Деформации вышележащих талых слоёв проявляются достаточно быстро, а далее идёт постепенное замораживание этих слоёв снизу. В эксплуатации сооружение можно принимать сразу после постройки.

В общем, могут применяться эффективно и вторая и третья схемы. Однако в большинстве случаев требуется сочетание глубинного и поверхностного систем охлаждения, поскольку схемы поверхностного охлаждения содержат инерционные типы мероприятий (в частности, теплоизоляцию), которые формируют благоприятное мерзлотное состояние частей насыпи, граничащих с наружным воздухом. Именно в этих частях имеют место деформация пучения, сдвига откосных частей и другие виды деформаций в приповерхностных частях.

На рис. 11.6 приведён пример схемы глубинного охлаждения нижележащей мерзлоты применительно к дорожной насыпи. Мерзлотное состояние показано в период окончания строительства на момент окончания тёплого периода года. Для охлаждения применены термоопоры, заглублённые в мерзлоту на глубину « h » и расположенные на бровках основной площадки. При этом расстояние « a » поперёк насыпи $a \leq 2h$, а расстояние « C » вдоль насыпи и $C = 2h$. Мероприятия поверхностного охлаждения на чертеже не показаны.

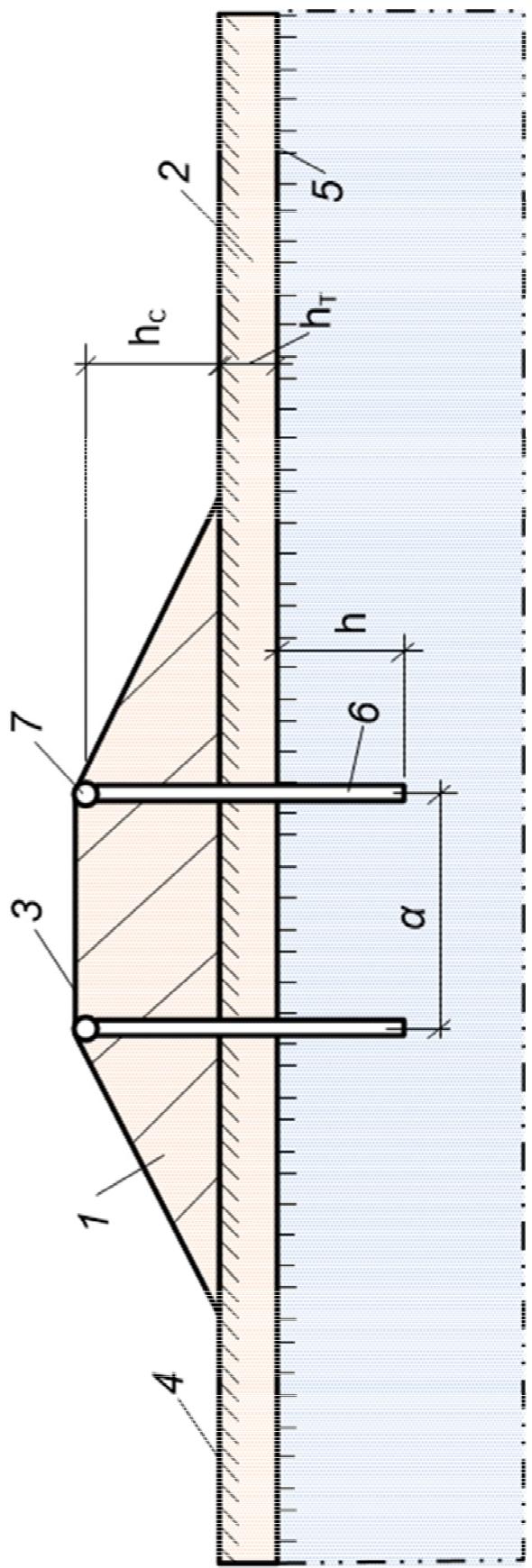


Рисунок 11.6 - Пример схемы глубинного охлаждения нижележащей мерзлоты применительно к дорожной насыпи в момент окончания тёплого периода года: 1 – тело насыпи, 2 - деятельный слой, 3 – основная площадка насыпи, 4 – естественная поверхность грунта, 5 – верхняя поверхность мерзлоты, 6 – термоопора, 7 - горизонтальный теплообменник термоопоры

12. ЭФФЕКТИВНЫЕ И НЕЭФФЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ УКЛАДКИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

При назначении места расположения и мощности теплоизоляции следует учитывать особенности теплового взаимовлияния отдельных составляющих системы насыпи «основная площадка – откосы - подошва насыпи - область, смежная с подошвой откоса - ненарушенная территория». При нарушении правил фактическое влияние теплоизоляции может быть существенно снижено по сравнению с расчётным, а может вообще стремиться к нулю или быть вредным.

Ниже приведены 6 основных схем эффективного и неэффективного расположения теплоизоляции (рис. 12.1 и 12.2). Примеры изложены следующим образом. Каждый пример содержит три изображения, расположенные рядом по горизонтали: мерзлотные состояния, то есть положения нулевой изотермы в грунтах основания и тела насыпи на момент окончания тёплого периода года. На первом изображении приведено состояние без применения теплоизоляции. На втором рисунке приведено состояние с неэффективным расположением теплоизоляции. На третьем рисунке – с эффективным расположением теплоизоляции.

Пример первый. На первом изображении рисунка 12.1,а приведено мерзлотное состояние, при котором обеспечена устойчивость и прочность насыпи. Недостатком является большая глубина сезонного протаивания в зоне основной площадки, что, в свою очередь, может увеличить опасность пучения. На втором изображении рисунка 12.1,а представлен вариант мерзлотного состояния, сформировавшийся в результате укладки теплоизоляции под полотном проезжей части только на ширине асфальтобетонного покрытия. В результате при попытке уменьшить глубину сезонного протаивания путём укладки теплоизоляции только на ширине асфальтобетонного покрытия «подтягивание» изотермы 6 происходит только в центре. В результате асфальтобетонное покрытие будет работать по

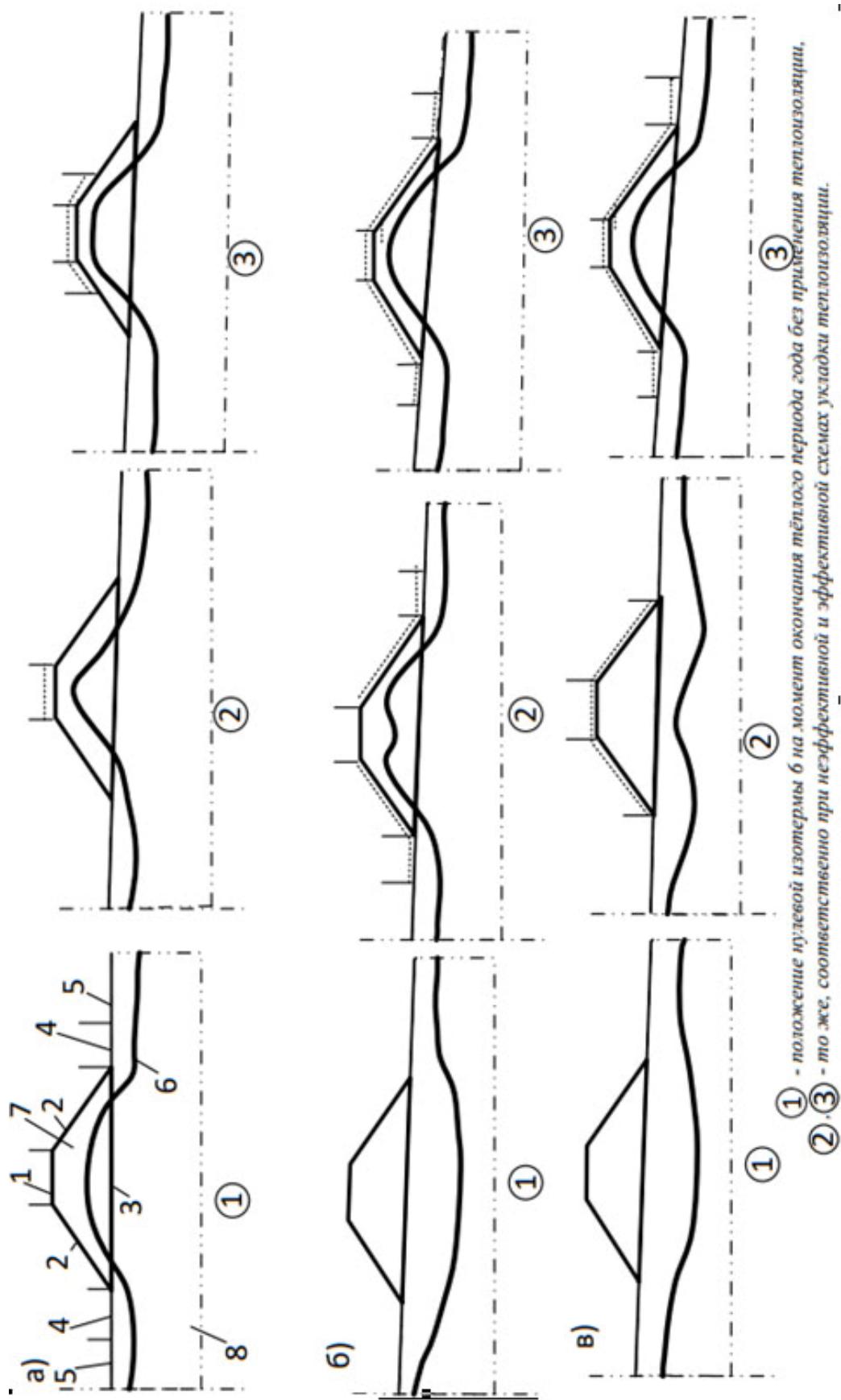


Рисунок 12.1 - Эффективные и неэффективные схемы укладки теплоизоляции: 1 – основная площадка, 2 – откос насыпи, 3 – подошва насыпи, 4 – область, смежная с подошвой откоса насыпи, 5 – ненарушенная территория, 6 – нулевая изотерма на момент окончания тёплого периода года, 7 – тело насыпи, 8 – грунт основания

1 – положение нулевой изотермы б на момент окончания тёплого периода года без применения теплоизоляции.
2, **3** – то же, соответственно при неэффективной и эффективной схемах укладки теплоизоляции.

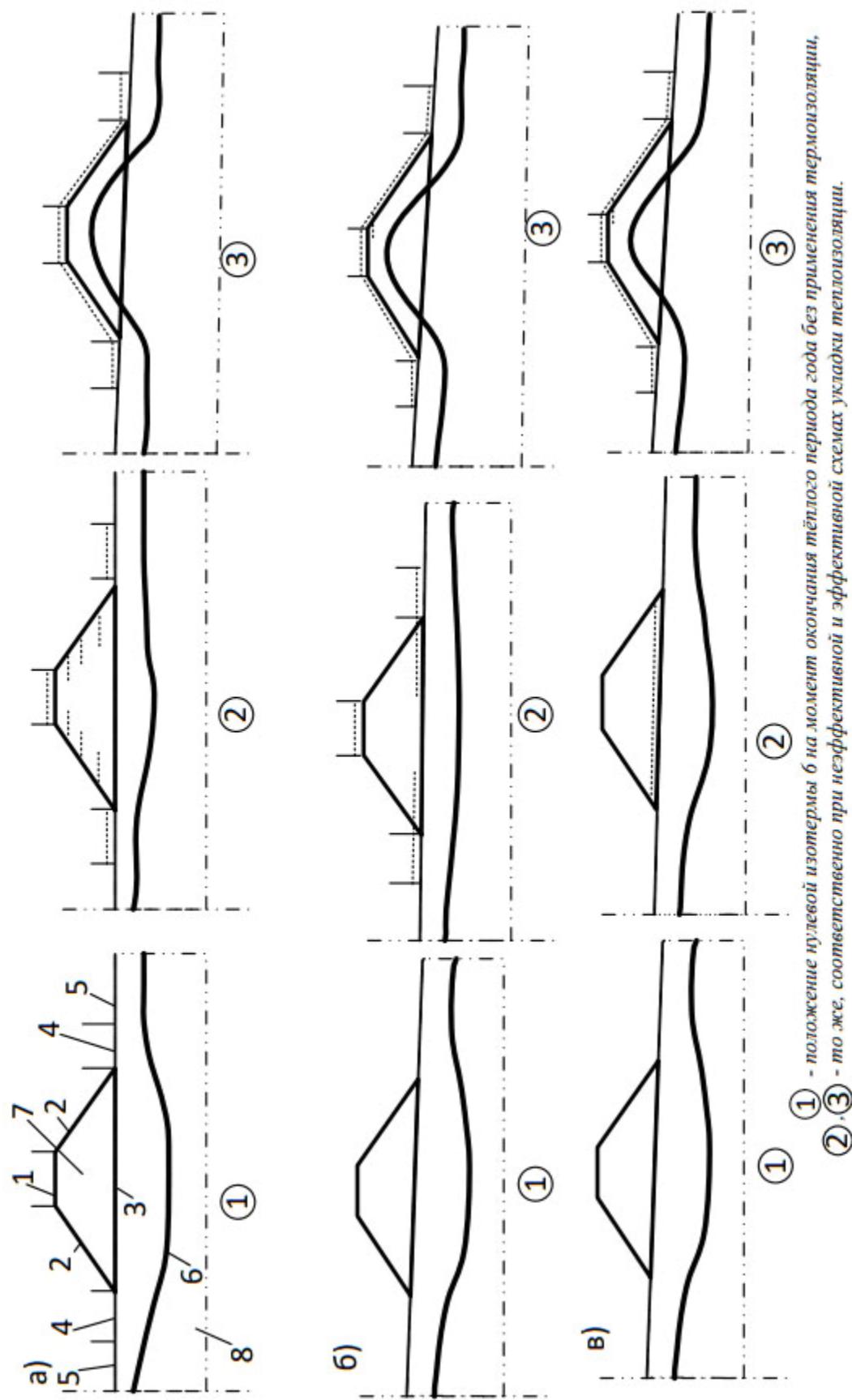


Рисунок 12.2 - Эффективные и неэффективные схемы укладки теплоизоляции: 1 – основная площадка, 2 – откос насыпи, 3 – подошва насыпи, 4 – область, смежная с подошвой откоса насыпи, 5 – ненарушенная территория, 6 – нулевая изотерма на момент окончания тёплого периода года, 7 – тело насыпи, 8 – грунт основания

ширине неравномерно, что может привести к образованию в нём продольных трещин. На третьем изображении рис. 12.1,а показано, что уширение зоны теплоизоляции на обочины (и в некоторых случаях на верхнюю часть откосов) приводит к благоприятному мерзлотному состоянию, когда в зоне асфальтобетонного покрытия отсутствуют перепады температур по глубине.

Пример второй. На первом изображении рисунка 12.1,б представлен случай, когда под насыпью грунт протаивает, что может привести к деформациям. При попытке поднять нулевую изотерму может оказаться достаточным применение теплоизоляции только на откосах и прилегающей зоне. Однако в этом случае формируется «яма» (второе изображение рис. 12.1,б), в которой будут скапливаться дождевые воды. Увеличение водосодержания приведёт к повышению опасности пучения. Для ликвидации этого целесообразно положить теплоизоляцию также под основной площадкой (третье изображение рисунка 12.1,б).

Пример третий. На первом изображении рисунка 12.1,в представлен тот же случай, что и на рис. 12.1,б.

При попытке поднять изотерму 6 может быть обоснована необходимость теплоизоляции только на откосе. Однако отсутствие мероприятий по охлаждению в зоне 4 может парализовать работу теплоизоляции на откосе, то есть обнулить её действие. В результате будет иметь место мерзлотное состояние в соответствии со вторым изображением рис. 12.1,в. Поднятие изотермы возможно при условии теплоизоляции также в зонах 4 (рис. 12.1,в, третье изображение).

Пример четвёртый и пятый. Следует учитывать, что горизонтально уложенная теплоизоляция на откосе (рис. 12.2,а и б) либо вообще не работает, либо практически не работает. Необходима укладка сплошной теплоизоляции (плоскостной или ступенчатой).

Пример шестой. Следует учитывать, что теплоизоляция, уложенная на подошве насыпи (второе изображение рис. 12.2,в), практически не работает. Теплоизоляцию следует располагать на внешней поверхности (третье изображение рис. 12.2,в).

13. ЭФФЕКТИВНЫЕ И НЕЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

13.1. Постановка вопроса

В используемом в данных Рекомендациях смысле термин «теплоизоляция» понимается как конструктивный элемент с общим термическим сопротивлением, выраженным в сантиметрах пенополистирола XPS ТЕХНОНИКОЛЬ (п. 4.4, глава 4) с коэффициентом теплопроводности 0,031 ккал/(м·час·град) (глава 3, п. 3.4). Этот конструктивный элемент, как правило, составной, состоит из двух и более составных элементов. В качестве составных элементов может быть использованы: непосредственно пенополистирол, грунт (защитный слой), торф, мохорастительный покров, травяной покров и др. Методика расчёта термического сопротивления приведена в главе 3 (п. 3.3.3). В данной главе рассмотрены положительные и отрицательные стороны различных конструкций теплоизоляции применительно к трём основным частям поверхности насыпи: основной площадки, откосов и прилегающей к насыпи территории. Сочетание различных видов теплоизоляции в одном поперечном сечении может обеспечить наиболее экономичные технические решения. Кроме рассмотренных конструкций в данном разделе могут быть также рекомендованы технические решения, охарактеризованные в работах [2, 4, 13, 18, 27].

13.2. Территория, прилегающая к подошве откоса насыпи

В соответствии с выводами главы 12 на полосе шириной обычно 3-5 м, прилегающей к подошве откоса насыпи, в большинстве случаев необходима укладка теплоизоляции. Конструктивно это может быть оформлено с сооружением невысокой бермы или заглублением в грунт. Рассмотрим несколько вариантов.

Простейшим вариантом теплоизоляции является массив торфа, заглублённый в грунт на глубину не менее 0,5 м (рис. 13. 1, а). Этот массив будет увлажняться за счёт притока поверхностных вод со стороны наружной территории и со стороны откоса. Это увлажнение позволит сохранить сам торф и обеспечить формирование растительного покрова. Таким образом в данном случае теплоизоляция содержит два составных элемента: торф и растительный покров. Существенно усилить термическое сопротивление предыдущего варианта возможно включением в качестве составного элемента пенополистирольных плит (рис. 13.1,б.). На рис. 13.1,в представлен вариант, в котором пенополистирольная плита укладывается непосредственно на грунт или на выравнивающий слой, а сверху защищена защитным слоем грунта. В этом случае грунт может высыхать и выветриваться, оголяя пенополистирол. Поэтому этот вариант требует укладки защитного слоя из крупнозернистого грунта или щебня.

Могут быть применены и другие варианты. Другими словами, рассматриваемая зона является наиболее благоприятной из всех трёх для создания различных вариантов теплоизоляции.

Вместе с тем, существуют варианты, используемые иногда в практике, но вызывающие опасения, поэтому они не рекомендуются.

На рис. 13.2,а приведён такой пример. Торф, расположенный выше уровня грунта, может высыхать, разлагаться и выветриваться. Торф может загораться (на железных дорогах такие случаи имели место).

Не следует также мохорастительный покров использовать в качестве теплоизоляции, если он закрывается чем-либо (рис. 13.2,б). Без доступа воздуха и под давлением вышележащего слоя мохорастительный покров погибает.

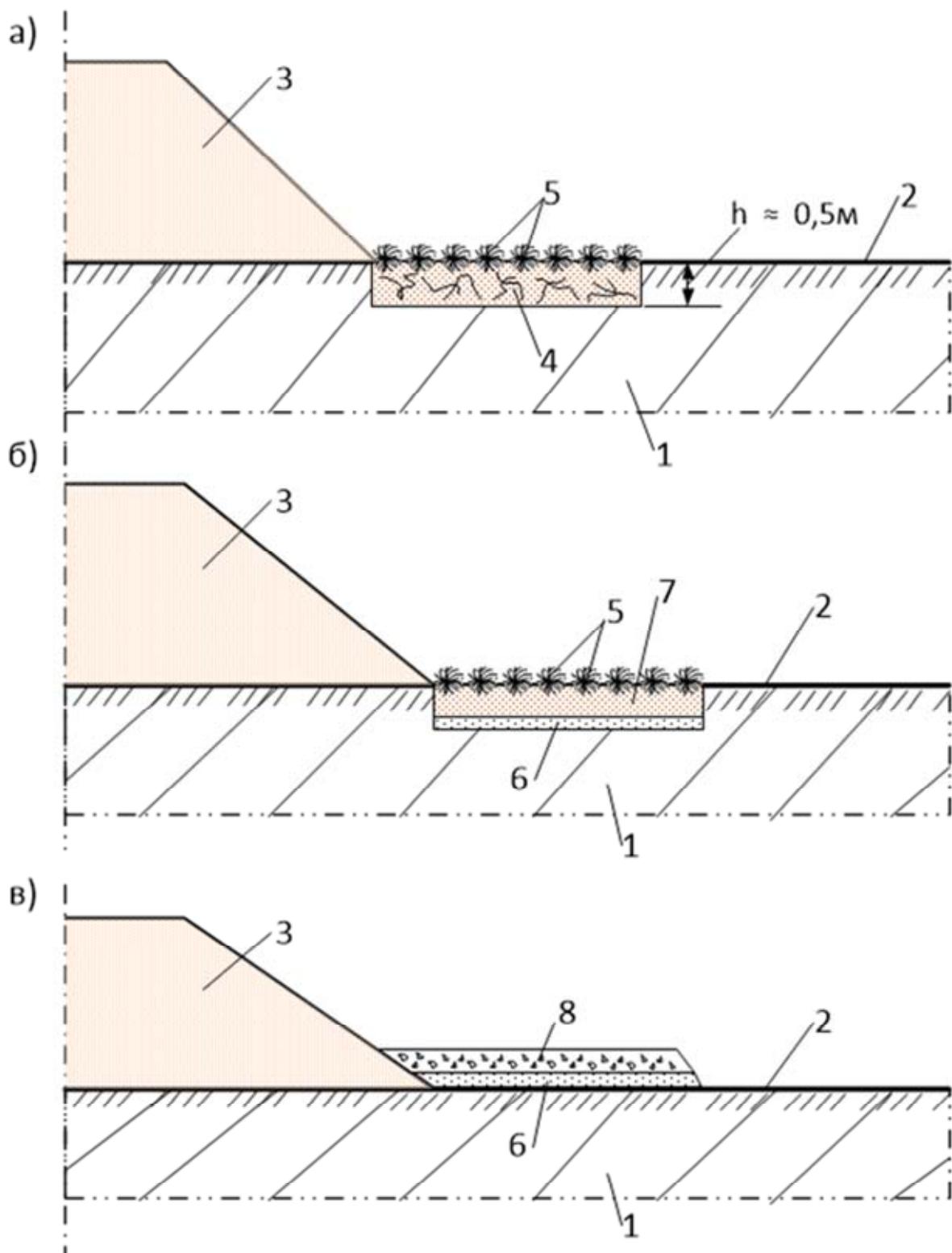


Рисунок 13.1 - Рекомендуемые принципиальные схемы конструктивных решений теплоизоляции в зоне, смежной с насыпью: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – водонасыщенный торф, 5 - растительный покров, 6 – лист пенополистирола, 7 - местный грунт, 8 - крупнозернистый грунт

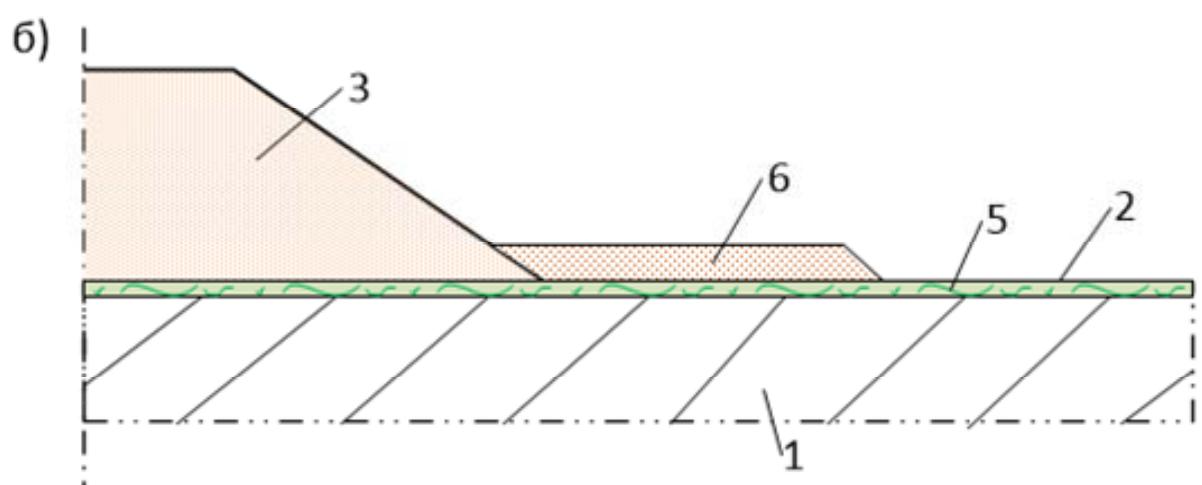
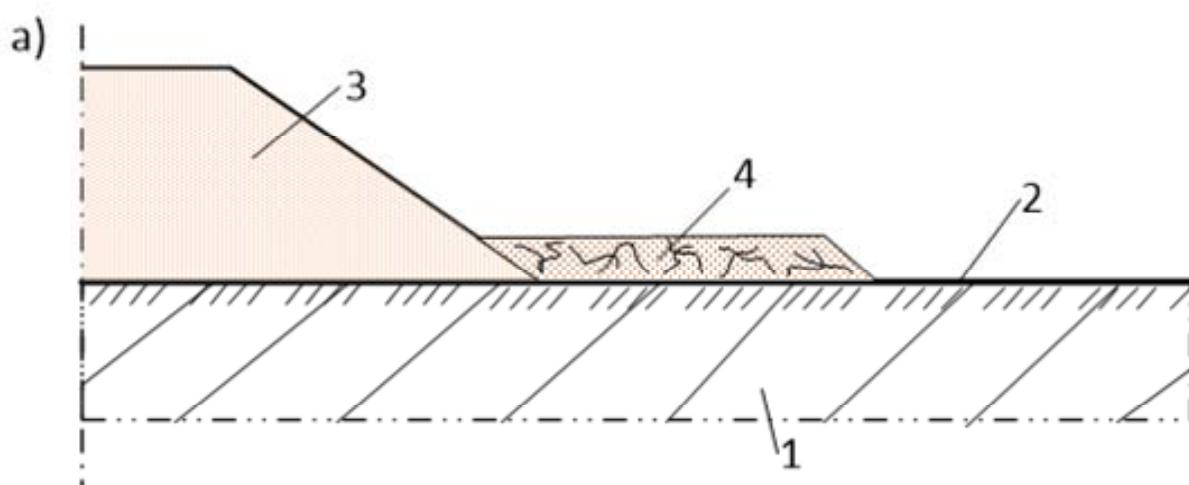


Рисунок 13.2 – Не рекомендуемые принципиальные схемы конструктивных решений теплоизоляции в зоне, смежной с насыпью: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 - торф, 5 - мохорастительный слой, 6 – берма

13.3. Основная площадка насыпи

В зоне основной площадки как непосредственно в зоне проезда, так и на обочине рассчитывать на теплоизолирующее влияние растительного покрова нельзя, опасности сдвига теплоизоляции (как на откосе) тоже нет, кроме того, теплоизоляция под нагрузкой должна быть несжимаема, поэтому вариантов здесь мало, и конструкция теплоизоляции формируется как непосредственно слой пенополистирола с выравнивающим и защитным слоями.

Укладываться теплоизоляция должна как можно ближе к поверхности, поскольку по мере удаления от поверхности эффективность теплоизоляции резко падает.

13.4. Откосы насыпи

В связи с тем, что теплоизоляцию на откосе можно применить только на поверхности, сооружение теплоизоляции на откосе по сравнению с предыдущими элементами поверхности насыпи связано с рядом трудностей: возможность сдвига (сползания) слоя теплоизоляции по поверхности откоса, возможность выветривания и размыва. В процессе строительства также возможны деформации сокращения высоты насыпи, что изменит и длину откосов.

Следует также иметь в виду следующий вредный при разработке технологии укладки теплоизоляции эффект: осенью при промерзании грунта под теплоизоляцией имеет место миграция влаги к границе промерзания, а весной, в момент оттаивания водонасыщенный грунт практически теряет несущую способность на сдвиг. Поэтому надеяться на силу трения, удерживающую теплоизоляцию, нежелательно. Нужны анкеры. Но анкеры выпучиваются, поэтому должны быть предусмотрены соответствующие меры. На рис. 13.3 приведены виды теплоизоляционных покрытий на откосах, а на рис. 13.4 – виды закрепления теплоизоляционного покрытия на откосах.

На рис. 13.5,а представлен наиболее простой вариант теплоизоляционного покрытия - растительный покров. Для ликвидации опасности сдвига, размыва и выветривания корневая система растительного покрова должна пересечь слой 3 плодородного грунта и располагаться в слое 1 основного грунта. В период формирования растительного покрова целесообразно предусмотреть искусственное усиление слоя 3 (например, устройство биоматов). Травяной покров относится к точечному подвижному виду теплоизоляционного покрытия, которое может быть применено при любом подвижном основании. Закрепление – анкерное, роль которого исполняет корневая система.

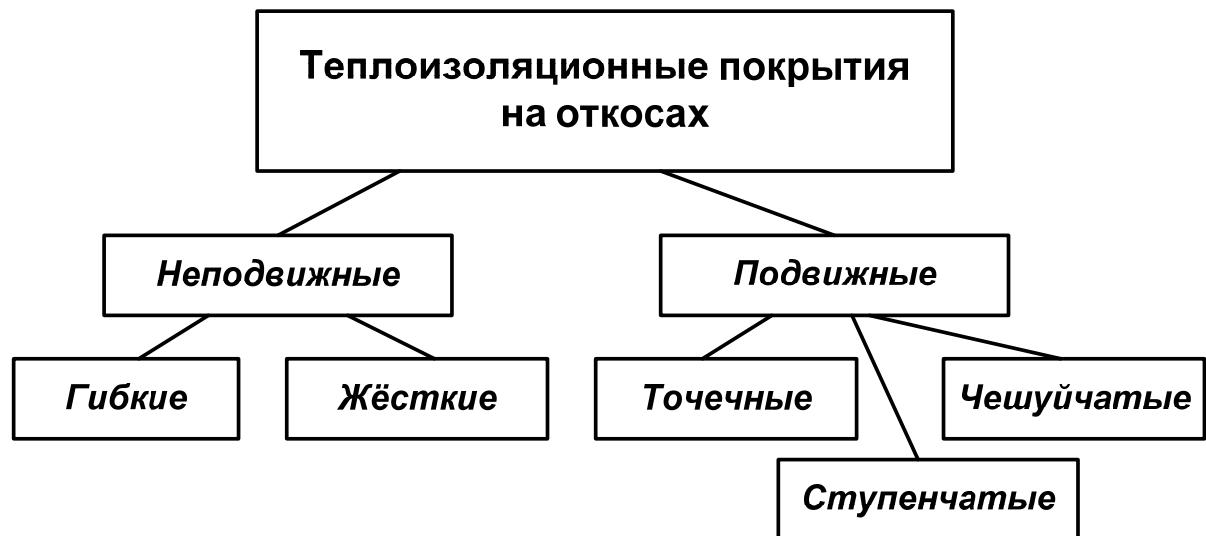


Рисунок 13.3 - Виды теплоизоляционных покрытий на откосах



Рисунок 13.4 - Виды закрепления теплоизоляционного покрытия на откосах

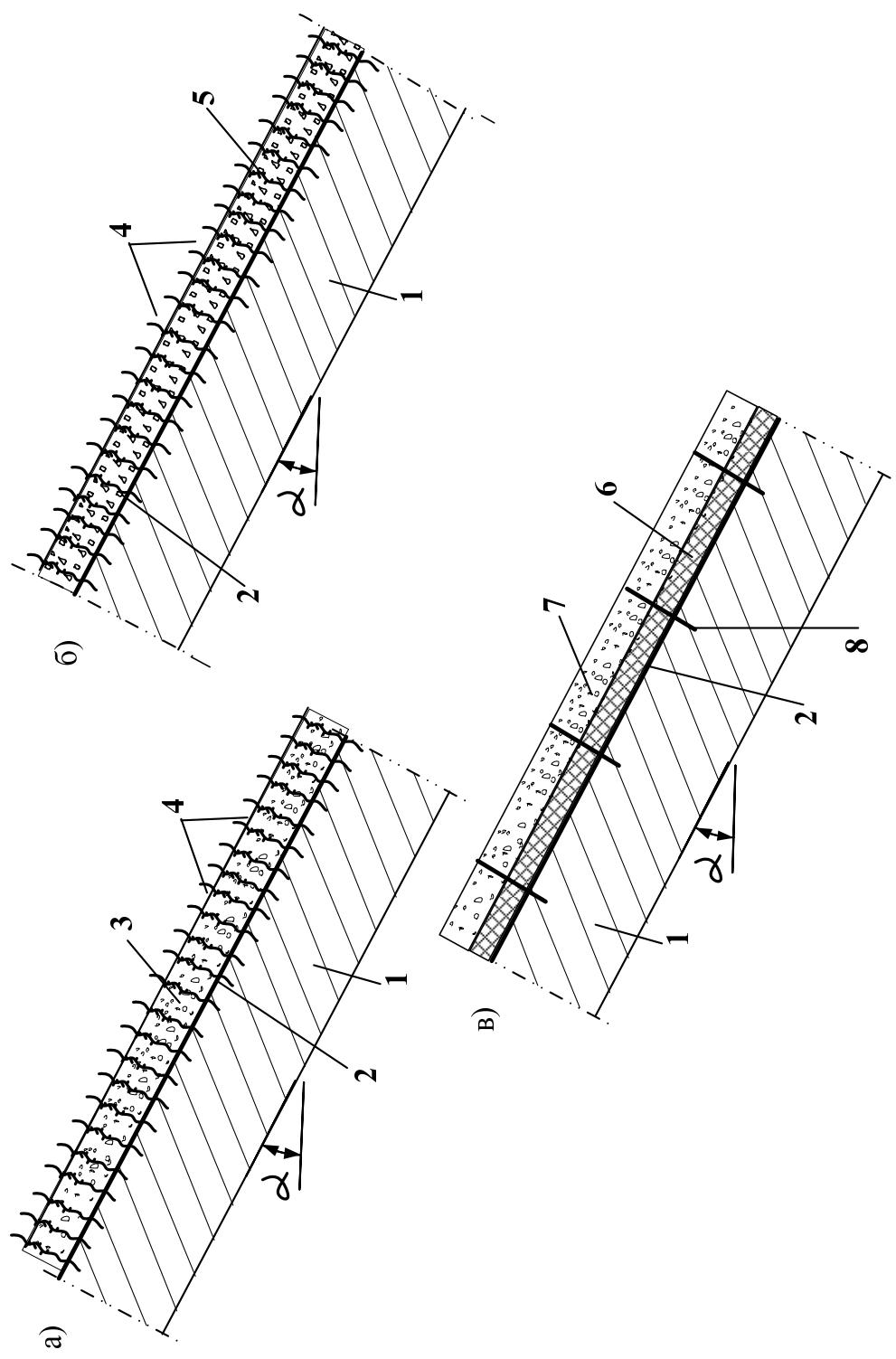


Рисунок 13.5 - Рекомендуемые принципиальные схемы конструктивных решений теплоизоляции в зоне откосов: 1 - основной грунт откосной части, 2 - естественная поверхность откоса, 3 - грунт, благоприятный для растительного покрова, 4 - растительный покров, 5 - грунт, смешанный с частицами теплоизолятара, 6 - плита пенополистирола, 7 - крупнозернистый грунт, 8 - анкеры пластиинчатые

На рис. 13.5,б представлена схема, подобная схеме рис. 13.3,а, но теплопроводность грунта 5 уменьшена за счёт включения в грунт частиц теплоизолятора.

На рис. 13.5,в представлен вариант, когда пенополистирольные плиты укладываются непосредственно на поверхность откоса. При этом для предохранения от размыва и выветривания защитный слой 7 состоит из крупнозернистого грунта (песчано-гравийная смесь, щебень, и др.). Для предохранения от сдвига применены пластинчатые анкеры 8. Эта схема может быть отнесена и к гибкому неподвижному покрытию.

На рис. 13.6,а представлен вариант ступенчатой укладки пенополистирола. Схема позволяет обеспечивать формирование растительного покрова, который даёт дополнительное термическое сопротивление. Следует отметить, что плита пенополистирола устанавливается практически вертикально, чтобы избежать сдвиговых усилий.

На рис. 13.6,б представлена схема, особенности которой заключаются в следующем:

- схема применима как к крутым, так и пологим откосам, она может использоваться и для вертикальных поверхностей;
- возможно использование теплоизоляции практически по поверхности без защитного слоя, что увеличивает её эффективность;
- для габионов должны использоваться современные конструкции и технологии [29].

Следует отметить те принципиальные схемы конструктивных решений, которые в настоящее время имеются в технической литературе, но которые не рекомендуется применять.

На рис. 13.7,а представлена схема тепловой защиты откоса с использованием торфа. Эта схема неудачная: торф высыхает, выветривается, горит.

Таким образом, если к горизонтальным участкам поверхности сечения насыпи применим термин «укладка теплоизоляции», то для откоса нужно применить термин «закрепление теплоизоляции»

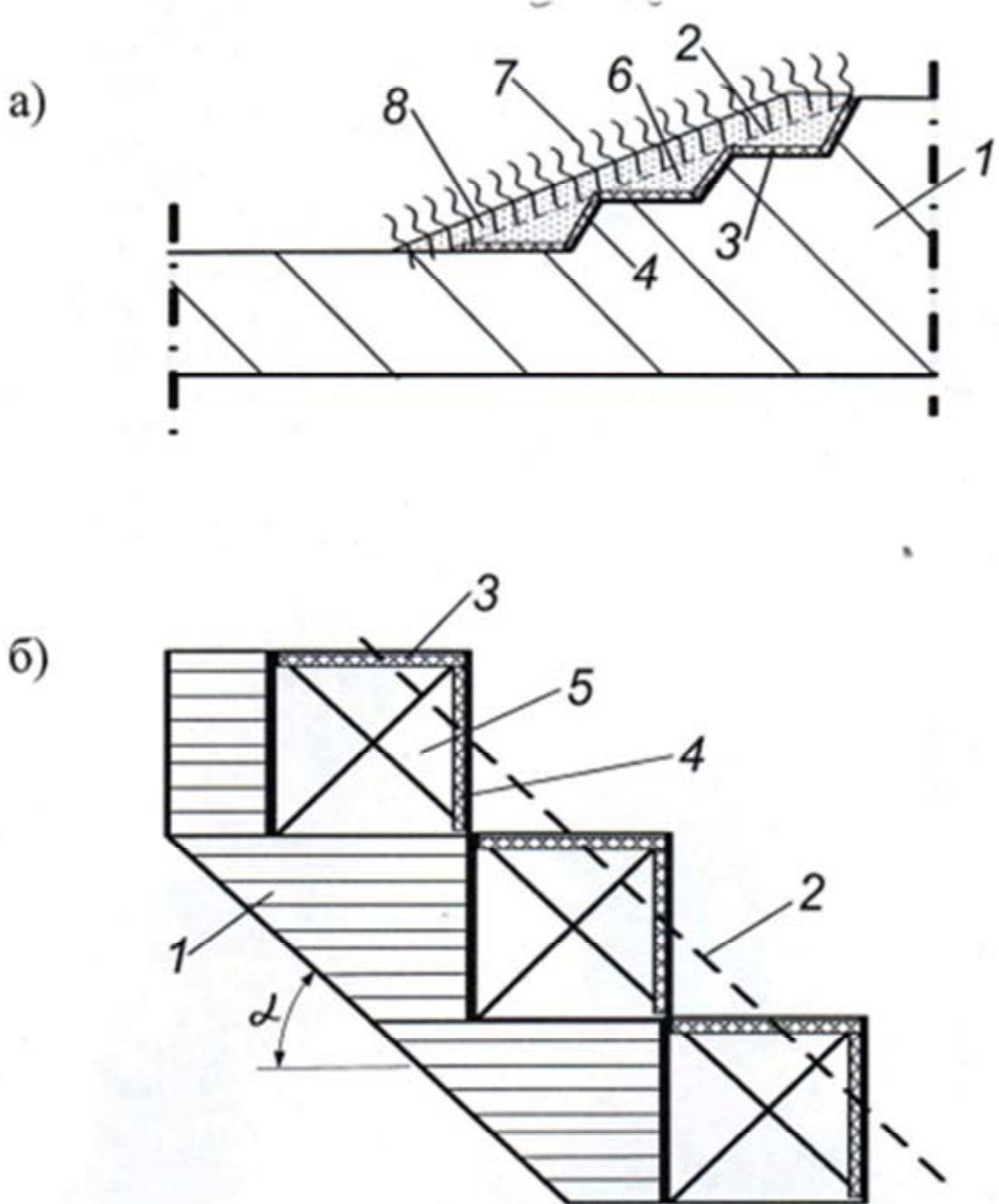


Рисунок 13.6 - Рекомендуемые принципиальные схемы конструктивных решений теплоизоляции в зоне откосов: 1 – основной грунт откосной части, 2 – естественная поверхность откоса, 3 – горизонтальные плиты пенополистирола, 4 – вертикальные плиты пенополистирола, 5 - габионы, 6 – местный грунт, 7 - растительный покров, 8 – грунт, благоприятный для растительного покрова

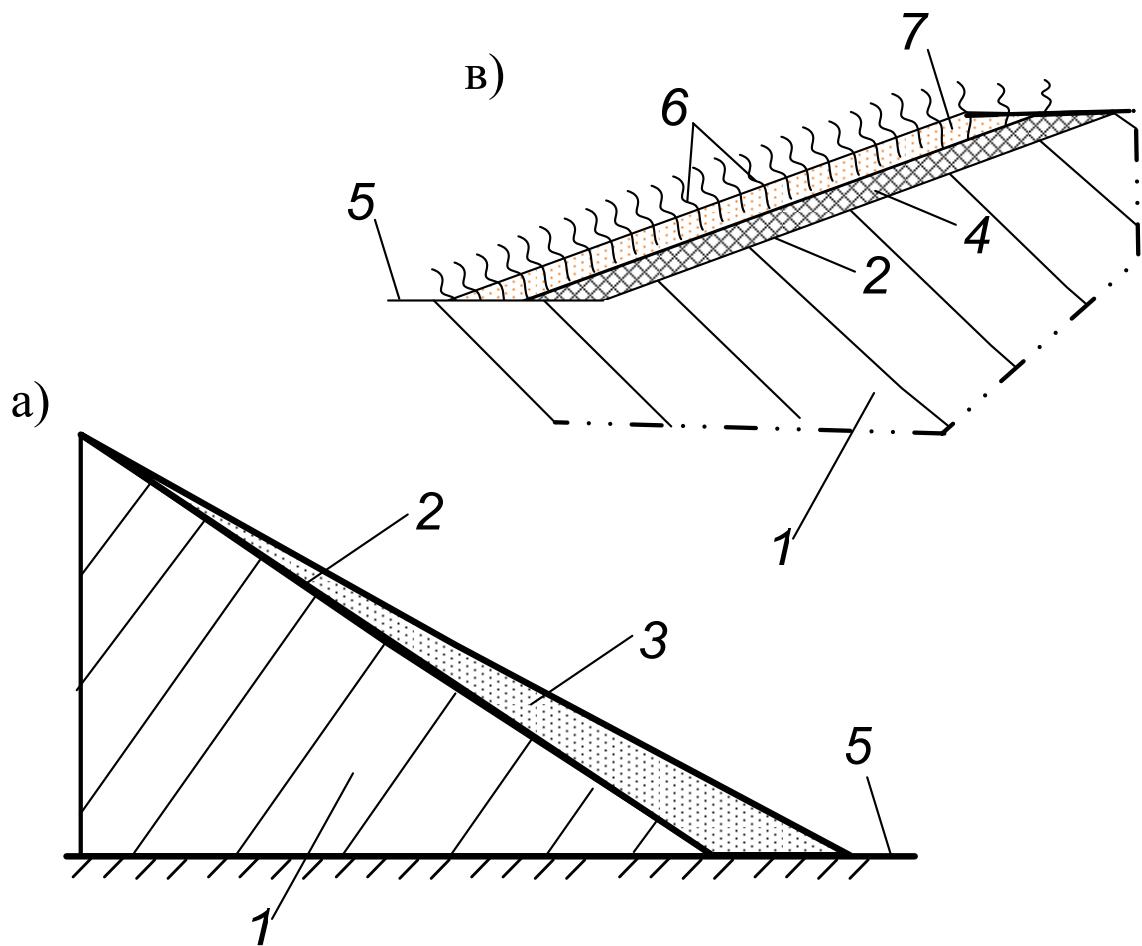


Рисунок 13.7 – Не рекомендуемые принципиальные схемы конструктивных решений теплоизоляции в зоне откосов: 1 - основной грунт откосной части, 2 – естественная поверхность откоса, 3 – торфяная призма, 4 – плита пенополистирола, 5 – естественная поверхность грунта, 6 - растительный покров, 7 – грунт, благоприятный для растительного покрова

14. УЧЕТ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

При разработке мероприятий по стабилизации температурного режима следует учитывать глобальное потепление климата, которое имеет место последние 100 лет. Особенности глобального потепления рассмотрим на примере г. Салехарда.

Процесс потепления идет неравномерно: периоды быстрого потепления сменяются периодами похолодания. На рис. 14.1 представлены графики изменения средних за десятилетие температур воздуха с 1883 г. по настоящее время по данным метеостанции г. Салехарда. С 1883 г. по 2021 г. температура воздуха повысилась с минус 7,9°C до минус 4,4°C, т.е. на 3,5°C, или на 0,025°C/год. Последние 20 лет характеризуются периодом резкого потепления: за последнее десятилетие по сравнению с предыдущим температура повысилась на 1°C, т.е. за 20 лет 0,05°C/год (табл. 14.1).

При повышении среднегодовой температуры воздуха изменяется характер работы различных мероприятий по охлаждению грунтов. Эффективность мероприятий поверхностного типа снижается. Глубинные устройства значительно более устойчивы и продолжают работать, снижая эффективность весьма незначительно. На рис. 14.2 приведены графики среднеотрицательных (т.е. зимних) температур воздуха по метеостанции г. Салехарда за десятилетия с 1883 г. по 2021 г. Из этих графиков видно, что среднеотрицательная температура с 1883 г. по 2021 г. изменилась только на 1,4°C (с -16°C до -14,6°C), т.е. на 8,8%, в то время как среднегодовая температура (рис. 14.1) изменилась на 3,5°C, что по отношению к начальной 7,9°C составляет 44,3%. Другими словами, среднезимняя температура не только изменяется в 5 раз меньше, чем среднегодовая, но и остается низкой. Характер изменения среднезимней и среднегодовой температур хорошо представлен на рис. 14.3.

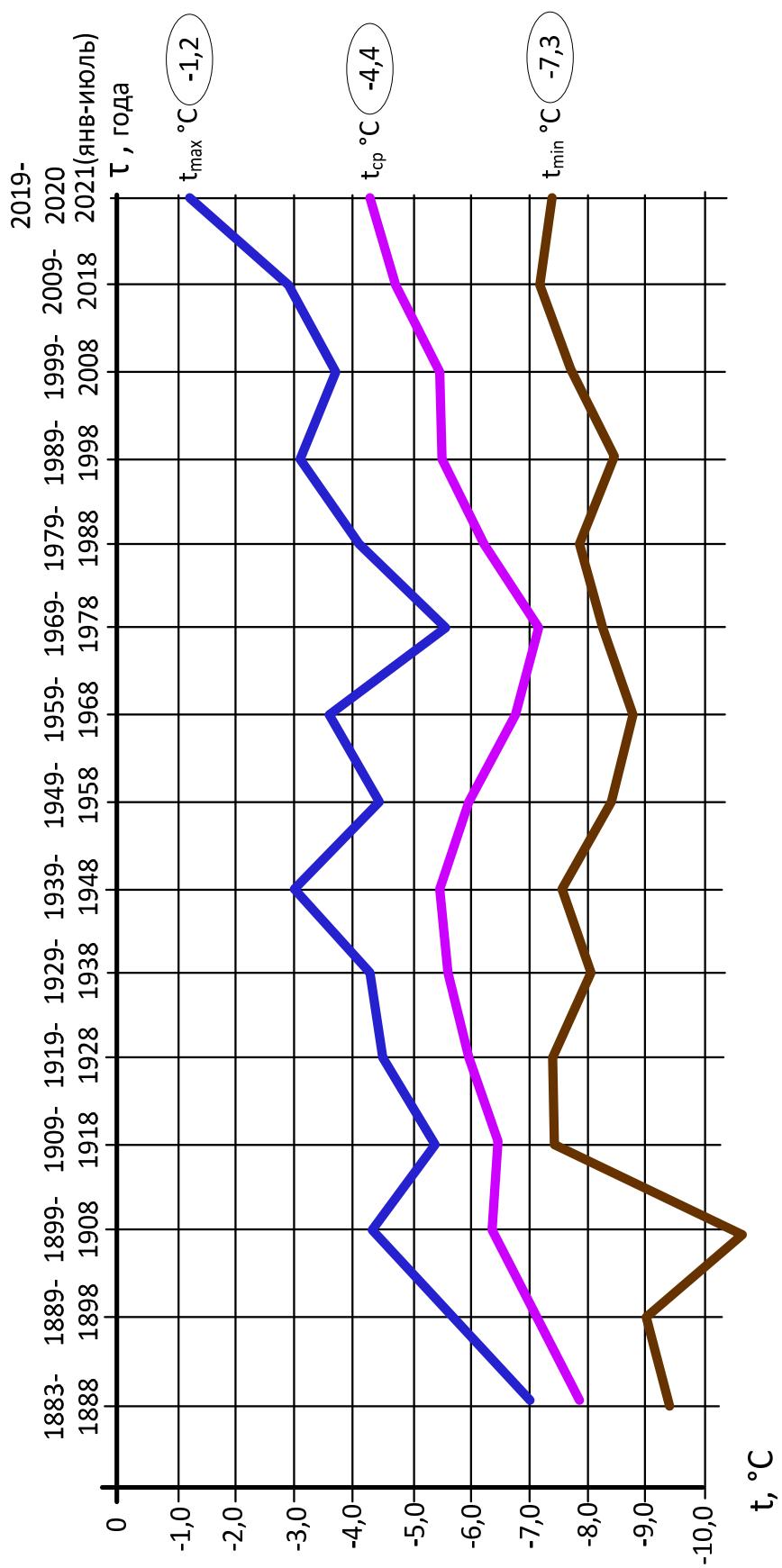


Рисунок 14.1 - Графики максимальных, средних и минимальных среднегодовых температур за десятилетия с 1883 – 2021 гг. по метеостанции Салехарда

Таблица 14.1 - Температура воздуха за период 2003 – 2022 гг. по метеостанции Салехарда

Годы	Месяцы года												Средн. за год	Средн. за 10 лет
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
2003	-25,2	-23,3	-16,2	-6,9	1,9	11,2	14,4	16	5,7	-2,2	-16,7	-16,5	-4,8	-5,1
2004	-19,3	-21,7	-17,5	-14,8	-1,8	10,8	16,7	10,2	4,4	-3,8	-11,1	-24,2	-6	
2005	-18,7	-20,3	-20,3	-10,9	1,9	10,4	16	11,4	8	1,1	-7	-18,8	-3,9	
2006	-30,1	-22,9	-15,7	-15,7	0	11,4	14,4	10,4	5,4	-7,1	-22,2	-20,7	-7,7	
2007	-14,8	-28,9	-13,1	-3,4	-3,7	8,6	18,7	11,4	6,4	1,7	-11,9	-15	-3,7	
2008	-16,2	-19,2	-17,3	-10	-2,4	8,6	15,3	11,2	6,1	-1,4	-12,7	-12,8	-4,2	
2009	-24,1	-26,2	-15,6	-8,4	-3,3	8,6	13,7	12,1	7,5	-1,4	-19,4	-30,2	-7,2	
2010	-24,5	-32,8	-17	-7,4	0,1	8,7	13,3	10,6	3,2	1	-13,8	-24,3	-6,9	
2011	-23,6	-23,7	-9,3	-3,5	3,5	13,2	11,7	9	7,6	-1	-12,1	-13,9	-3,5	
2012	-19,8	-18,5	-17,1	-4,8	2,1	16,2	16	11	6,9	-0,8	-13,7	-17,5	-3,3	
2013	-27,9	-18	-22,4	-4,7	0,6	11,7	18,5	12,5	4,6	-5,7	-9,8	-20,4	-5,1	-4,1
2014	-28,6	-27,2	-9,4	-6,2	0,5	11,2	11,2	11,6	4,2	-6,1	-13	-17,9	-5,8	
2015	-25,3	-19,1	-8,7	-4,3	5,6	13,5	13	10,7	5,7	-5,2	-15,1	-17,2	-3,9	
2016	-23,7	-10,4	-12,8	-2,1	1,2	14,1	19,4	14,6	9,3	-0,2	-17,7	-26,3	-2,9	
2017	-23,3	-21,3	-4,7	-10	-4,1	9,5	16,8	10,9	4,5	-0,8	-10,2	-13,3	-3,8	
2018	-15,7	-23	-21,1	-8,5	-2,8	9,8	16,8	11,7	7,9	-0,1	-13,3	-15,6	-4,5	
2019	-24,5	-23,9	-10,3	-6,3	0,8	8,1	16,9	11,5	6,2	-1,8	-15,3	-16,8	-4,6	
2020	-17,2	-12,1	-7,5	-2,8	5,4	9,9	15,5	13,6	8,7	-1,4	-8	-18	-1,2	
2021	-29,8	-30	-18,5	-2,1	4,7	11,2	13,7	14	5,6	-1,0	-14,5	-22,4	-5,8	
2022	-20,6	-17,6	-13,1	-5,2	4,6	12,4	15,9	14,4	5,8	1,3	-13,9	-19,4	-3,0	

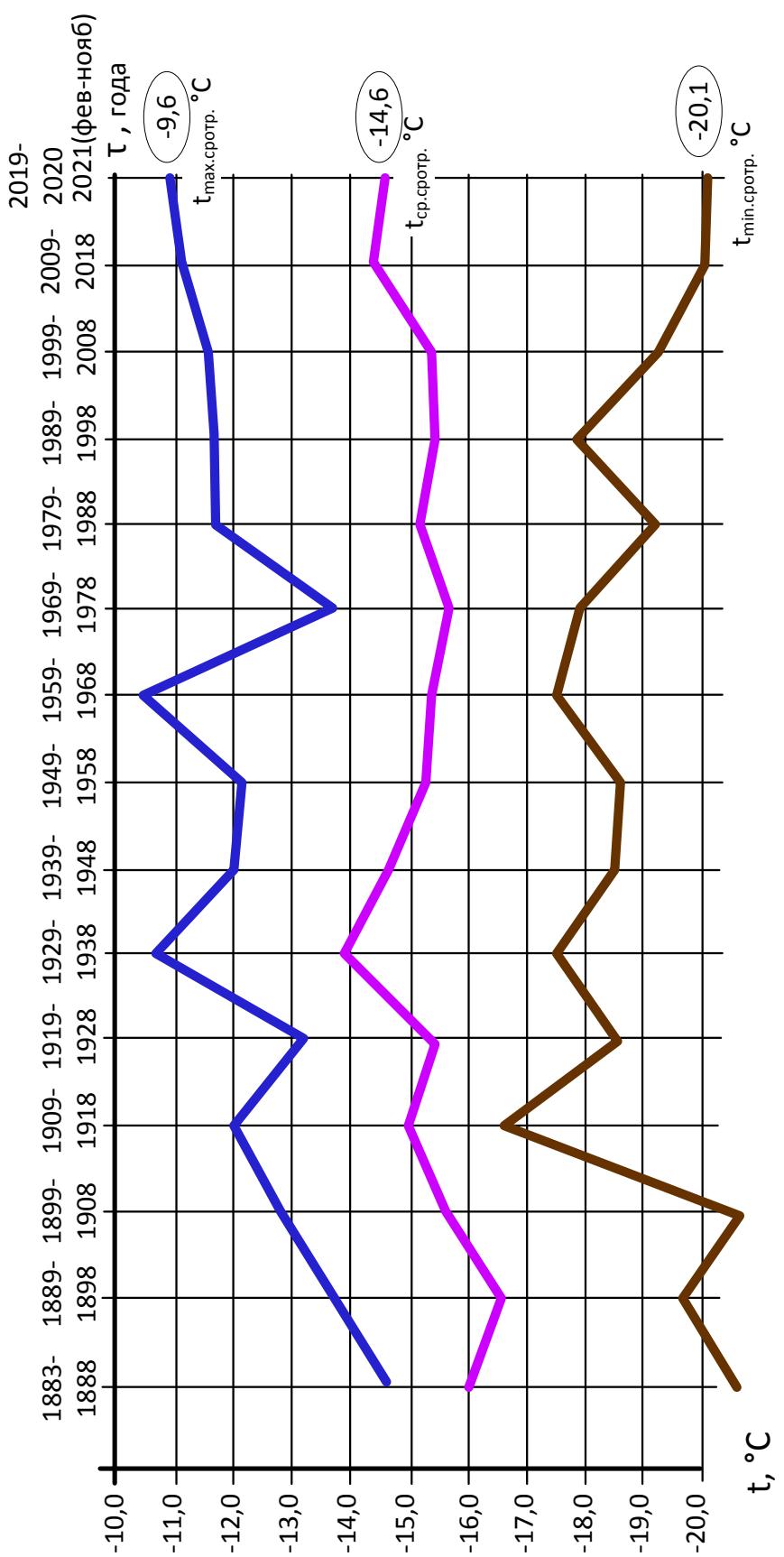


Рисунок 14.2 - Графики максимальных, средних и минимальных среднеотрицательных температур за десятилетия с 1883 – 2021 гг. по метеостанции Салехарда

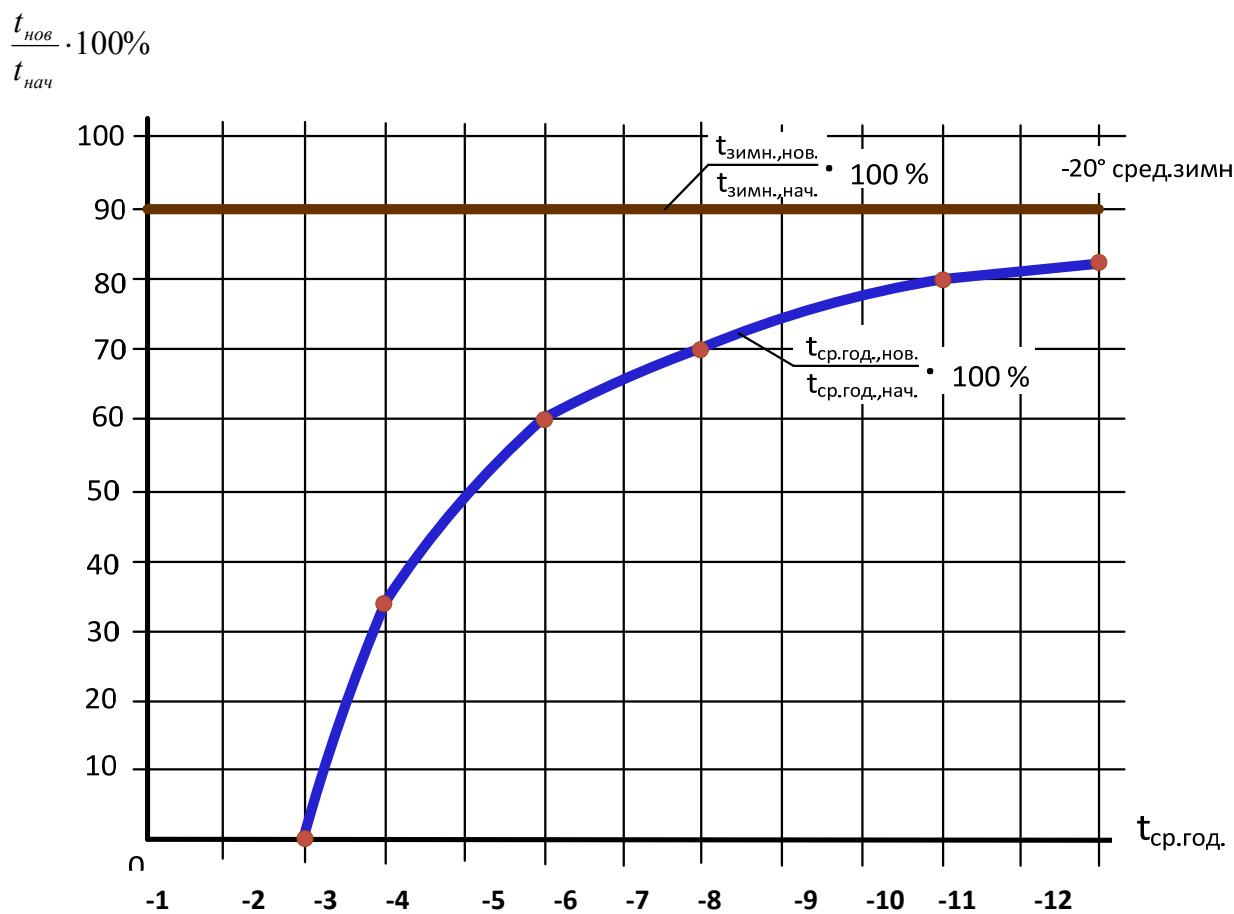


Рисунок 14.3 - Характер относительного уменьшения среднезимних и среднегодовых температур в зависимости от начальной среднегодовой температуры воздуха $t_{\text{ср.год. нач.}}$ при $t_{\text{зимн. нач.}}$ равной минус 20°C и повышении среднегодовой и среднезимней температур на 2°C

Как уже отмечалось в главе 1 (раздел 1.3), мероприятия по охлаждению грунтов рекомендуется разделить на 3 группы:

- всесезонного действия (например, оголённая от снега поверхность),
- зимнего действия (например, термоопоры),
- летнего действия (например, травяной покров). Теплоизоляция в зоне снежных отложений – мероприятие сезонное, летнего действия.

При глобальном потеплении на первое место выступают мероприятия зимнего и летнего действия. Однако другие мероприятия, которые тоже включаются в работу и охлаждают грунты, не следует исключать.

При разработке мер по стабилизации температурного режима следует сформировать системы, содержащие мероприятия по охлаждению грунтов и мероприятия по замораживанию грунтов. К мероприятиям по охлаждению грунтов можно отнести мероприятия всесезонного действия. Их эффективность падает, но в системе они существенно улучшают мерзлотное состояние. Мероприятия зимнего действия продолжают работать как мероприятия по замораживанию грунтов.

15. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Часть I данных Рекомендаций содержит следующие новые разработки:

- 1) сделан анализ ошибок, допускаемых в существующей практике при конструировании и расчёте теплоизоляции (гл. 1);
- 2) сформулированы рекомендации по применению методов теплофизических расчётов (гл. 2);
- 3) сформулированы рекомендации по подготовке исходных данных для теплофизических расчётов (гл. 3);
- 4) выявлена многогранность теплоизоляции в различных тепловых процессах (гл. 4);
- 5) выявлены сильные и слабые стороны теплоизоляции и обоснована необходимость сочетания различных методов по охлаждению грунтов (гл. 5);
- 6) выявлены эффективные и неэффективные схемы укладки теплоизоляции (гл. 12);
- 7) выявлены эффективные и эффективные конструкции теплоизоляции (гл. 13);
- 8) разработаны предложения по учёту особенностей возведения сооружений в мерзлоте несливающегося типа (гл. 11);
- 9) разработаны предложения по учёту особенностей возведения сооружений в условиях глобального потепления (гл. 14);
- 10) приведены примеры поперечных сечений насыпи с теплоизоляцией для различных регионов (главы 5, 6, 7, 8, 9, 10, Приложение Ж).

Сделанные разработки позволили подготовить материалы для формулировки методики, изложенной в части II настоящих Рекомендаций.

16. ЛИТЕРАТУРА

1. Араманович И.Г., Левин В.И. Уравнения математической физики, Изд. «Наука». М. 1964 г.
2. Воробьёв С.С., Пассек В.В., Поз Г.М., Пассек Вяч. В. Откосная часть земляного сооружения на вечной мерзлоте. Патент на изобретение № 2814690, 14.09.23 г.
3. Дыдышко П.И. Земляное полотно железнодорожного пути. Справочник. Научно-исследовательский институт железнодорожного строительства (ОАО «ВНИИЖТ»). М. 2014 г.
4. Дыдышко П.И., Пассек В.В., Минайлов Г.П., Жданова С.М. и др. Теплоизоляционное покрытие для сохранения вечномёрзлых грунтов оснований. А.с.№1506966 8.05.89 г.
5. Лукьянов В.С., Головко М.Д. Расчёт глубины промерзания грунтов. Труды всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства. Трансжелдориздат. М. 1957.
6. ОДМ 218 4 1.006. 2021. Рекомендации по применению многосекционных геооболочек при сооружении земляного полотна.
7. Методические рекомендации по применению конструктивных мероприятий для сохранения вечномёрзлых грунтов в основаниях земляного полотна и искусственных сооружений на автомобильных дорогах Центральной Якутии. Научно-исследовательский институт транспортного строительства (ОАО ЦНИИС) и ОАО Трансдорпроект. М. 2010.
8. Пассек В.В., Андреев В.С., Цуканов Н.А., Пассек Вяч.В. и др. Дорожная насыпь на вечной мерзлоте. Патент на изобретение № 2705656, 28.05.18 г.
9. Пассек В.В., Вербух Н.Ф., Цуканов Н.А., Цернант А.А. и др. Откосная часть земляного сооружения на вечной мерзлоте. Патент на ПМ № 70267. 6.08.07 г.
10. Пассек В.В., Воробьёв С. С., Поз Г.М. Дорожная насыпь на вечной мерзлоте. Патент изобретение № 2744541, 02.09.20 г.
11. Пассек В.В., Орлов Г.Г., Вербух Н.Ф. и др. Откосная часть земляного сооружения на вечной мерзлоте. Патент на ПМ № 69883, 27.06.07.г.

12. Пассек В.В., Петров В.И. Термоопоры - эффективный и перспективный вид конструкции на вечной мерзлоте. Научно-исследовательский институт транспортного строительства (ОАО ЦНИИС). М. 2009 г.

13. Пассек В.В, Поз Г.М., Воробьёв С.С., Пассек Вяч.В. Откосная часть земляного сооружения на вечной мерзлоте. Патент на изобретение № 2813720. 14.09.23 г.

14. Пассек В.В., Цернант А.А., Цуканов Н.А., Пассек Вяч.В. и др. Дорожная насыпь на вечномёрзлых грунтах. Патент на ПМ № 70269, 10.10.06 г.

15. Пассек В.В., Цуканов Н.А., Вербух Н.Ф., Орлов Г.Г. и др. Откосная часть дорожного земляного полотна на вечной мерзлоте. Патент на ПМ № 70268, 27.06.07 г.

16. Пассек В.В., Цуканов Н.А., Поз Г.М. и др. Дорожная насыпь на вечномёрзлых грунтах. Патент на изобретение № 2278213. 11.07.05 г.

17. Пассек В.В., Цернант А.А., Цуканов Н.А., Вербух Н.Ф. и др. Патент на ПМ №60546. Насыпь дороги на вечномёрзлых грунтах. 12.05.06 г.

18. Пассек В.В., Цернант А.А., Цуканов Н.А., Герасимов В.А. и др. Дорожная насыпь на вечной мерзлоте. Патент на ПМ № 72492. 14.12.07 г.

19. СП 25.13330. 2012. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах.

20. СП 131.13330.2012. Строительная климатология.

21. СП 313.1325800. 2017. Дороги автомобильные в районах вечной мерзлоты.

22. СП 354.1325800. 2017. Фундаменты опор мостов в районах распространения многолетнемёрзлых грунтов.

23. СП 445.1325800. 2018. Водопропускные трубы и системы водоотвода в районах вечной мерзлоты.

24. СП 447.1325800. 2019. Железные дороги в районах вечной мерзлоты.

25. СТО Газпромтранс 4-2012. Технические условия на проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию железных дорог на полуострове Ямал. ООО Газпромтранс. М. 2012.

26. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. Изд. «Наука», М. 1977 г.
27. Цуканов Н.А., Пассек В.В., Дыдышко П.И.и др. а.с. №1139176. Покрытие откоса земляного полотна. 8.10.83 г.
28. Шахунянц Г.М. Земляное полотно железных дорог. Транспортное железнодорожное издательство, М. 1953.
29. ГОСТ Р 59287-2020. Изделия из панелей для габионных конструкций.
30. Пассек В.В., Юсупов С.Н., Невмержицкая Л.И. Изменение температурного режима вечномерзлых грунтов при подтоплении территории, расположенной рядом с земляным полотном. Материалы 3-й конференции геокриологов России, том 4, МГУ, 2005 г.
31. Программа для расчета нестационарного температурного режима в строительных сооружениях. TMFLAT, Сертификат соответствия РОСС RU. НА 39.H01055 №0083295.
32. Пассек В.В., Селезнёв А.В. Особенности учёта снегоотложений на железных и автомобильных дорогах Арктики. Путь и путевое хозяйство, №10, 2020.
33. ГОСТ 32310-2020 (EN 13164+A.1:2015) «Изделия из экструзионного пенополистирола, применяемые в строительстве. Технические условия».

17. ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Термины и определения

Глубина нулевых годовых амплитуд температур в грунте - глубина, на которой температура грунта остаётся неизменной в течение всего годового периода независимо от сезонных колебаний температуры воздуха на поверхности.

Грунт - горные породы, почвы, техногенные образования, представляющие собой многокомпонентную и многообразную геологическую систему и являющиеся объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека. Грунты могут служить:

- 1) материалом основания зданий и сооружений;
- 2) средой для размещения в них сооружений;
- 3) материалам самого сооружения.

Мёрзлый грунт - грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий в своём составе видимые ледяные включения и (или) лёд-цемент и характеризующийся криогенными структурными связями.

Грунт многолетнемёрзлый (грунт вечномёрзлый) - грунт, находящийся в мёрзлом состоянии постоянно в течение трёх и более лет.

Грунт сезонномёрзлый (сезонноталый) - грунт, находящиеся в мёрзлом или талом состоянии периодически в течение холодного или тёплого сезона.

Грунт твёрдомёрзлый - дисперсный грунт, прочно сцепленный льдом, характеризуемый относительно хрупким разрушением и практически несжимаемый под внешней нагрузкой.

Грунт пластичномёрзлый - дисперсный грунт, сцепленный льдом, но обладающий вязкими свойствами и сжимаемостью под внешней нагрузкой.

Обратная задача - итерационная процедура определения расчётыным путём исходных параметров теплового взаимодействия по конечным результатам этого взаимодействия в виде температурного поля, глубин промерзания и оттаивания, среднегодовых температур грунта в отдельных точках поля и т.п., получаемых из наблюдений.

Охлаждение (замораживание) грунта

поверхностное - со стороны поверхности, граничащей с наружным воздухом (водой):

глубинное - за счёт передачи холода в глубинные слои грунта с помощью, например, сезонно действующих охлаждающих установок;

боковое - за счёт подпитки холодом с помощью поверхностного или глубинного охлаждения смежных с сооружением зон грунтов основания и передачи холода с боковой стороны под сооружение естественным кондуктивным путём.

Температурное поле - распределение температур на плоскости или в пространстве.

В данных рекомендациях оценка процессов производится с использованием следующих температурных полей:

- 1) температурное поле, полученное при инженерно-геологических изысканиях;
- 2) начальное температурное поле, сформировавшиеся в момент окончания строительства;
- 3) температурное поле в момент ввода сооружения в эксплуатацию;
- 4) расчётное температурное поле, при котором обеспечивается прочность и устойчивость насыпи;
- 5) температурное поле в установившемся режиме;
- 6) температурное поле в предельном состоянии, т.е. на момент окончания эксплуатации сооружения.

Температурный режим нестационарный - температурный режим, при котором температурное поле изменяется во времени.

Температурный режим установившийся - нестационарный циклический температурный режим, при котором температурные режимы отдельных циклов совпадают между собой.

Приложение Б. Деление зоны вечной мерзлоты на регионы с различным характером теплового влияния на сооружение (к разделу 3.3)

За основу деления территорий с распространением вечной мерзлоты приняты величины снегопереноса в связи с тем, что граничные условия – это главный фактор, влияющий на температурный режим.

При увеличении снегопереноса снегонакопления у насыпи резко увеличиваются, снижая поступление холода в грунты в зимний период. В табл. Б.1 приведены значения снегопереноса для всех регионов и уклоны поверхности снегоотложений у откосов насыпи вне зависимости от розы ветров. Намечено пять регионов, границы которых представлены на рис. Б.1.

В пределах каждого региона рассмотрен один и тот же примерно диапазон температур воздуха: минус 12°C, минус 9°C, минус 6°C. Температуры воздуха в табл. Б.2÷Б.6 даны для характерных объектов для каждого региона. Нормативные значения температур приведены в соответствии с табл. 5.1 СП 131 [20]. В таблицах даны также приведённые значения с учётом солнечной радиации. В связи с недостаточностью сведений в СП 131 в таблицах Б.2÷Б.6 введены условные пункты М, N, P, S. температура в которых получена интерполяцией значение по СП 131. Эти условные пункты обеспечивают принятый диапазон температур (от минус 6°C до минус 12°C).

Карта (рис. Б.1) была составлена на основе анализа климатических справочников, а характер снежных отложений сформулирован на основе более чем полувековых наблюдений авторов в природе в пределах всех 5 регионов.

Цель этой карты – показать, что в различных регионах граничные условия разные, и следует совершенно по-разному подходить к проектированию насыпи. Намечено 5 регионов. Но границы регионов приближённые. При проектировании должны использоваться данные метеостанций и др. видов наблюдений.

Ограничение карты одной параллелью символично. Этот приём показывает приближённость границ. Например, регион V в своей основной части расположен в Центральной Якутии. И температура воздуха в Рекомендациях дана именно для этой части. Но отсутствие снегопереноса может быть (хотя и на небольших территориях)

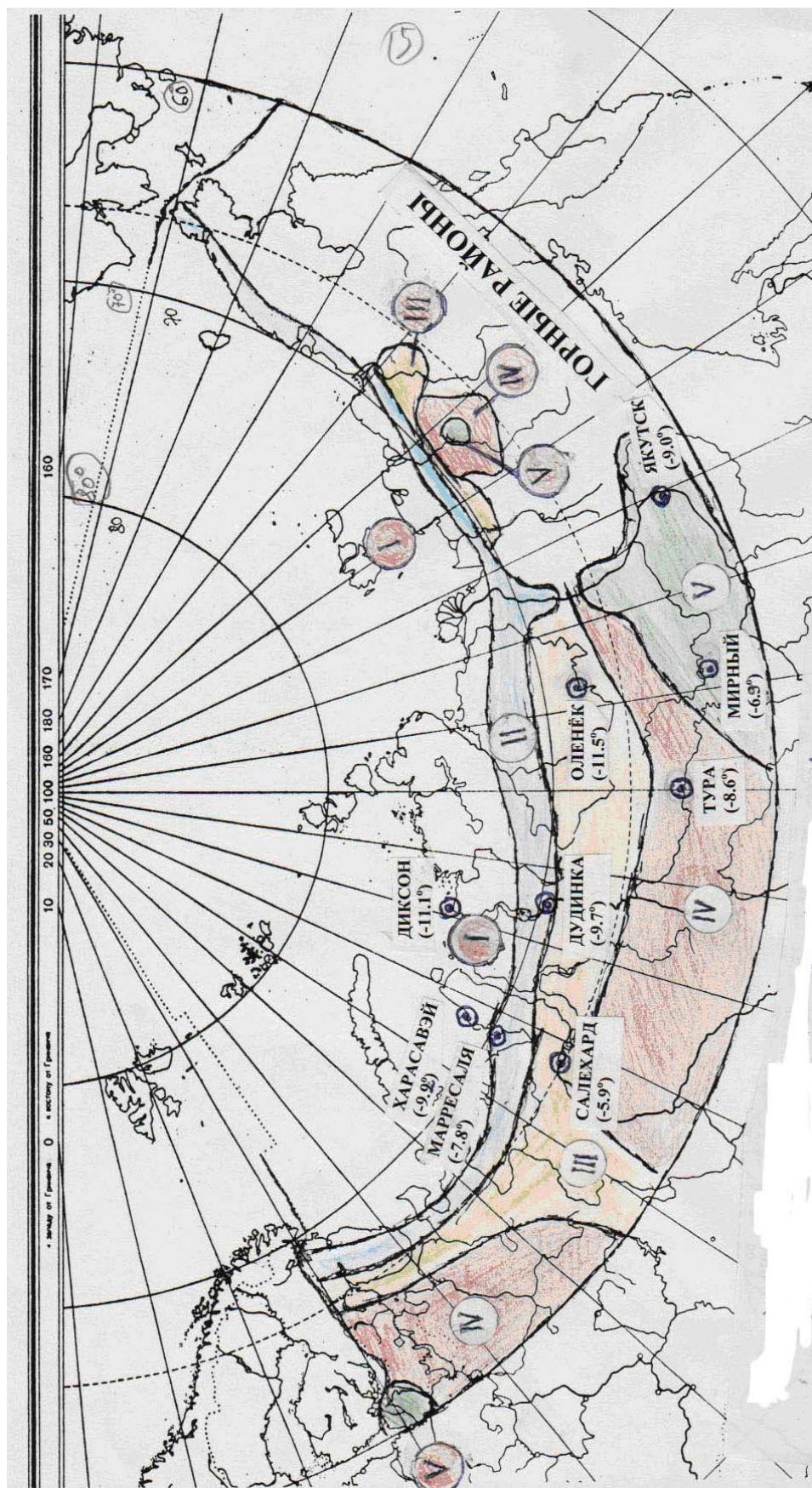


Рисунок Б.1 – Схема расположения опорных пунктов в регионах с различным снегопереносом

Таблица Б.1 – Снегоперенос и уклон максимальных поверхностей снежных отложений у насыпи по регионам

Регион	Снегоперенос, м ³ /м	Уклон поверхностей снежных отложений
I	более 1001	1:10
II	501-1000	1:7
III	351-500	1:5
IV	101- 350	1:3
V	менее 100	0

Таблица Б.2 - Температура наружного воздуха в регионе I

№ п/п	Наименование параметров	Географический центр	Среднемесечные значения температур, град										Средне- годовое значение	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Нормативное значение	-24,1	-24,7	-20,2	-15,5	-7,9	+1,9	+6,7	+7,1	+4,4	-6,6	-14,9	-17,0	-9,2
2	Солнечная радиация	Харасавей	-	-	-	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	-	+0,7
3	Приведённое значение	-24,1	-24,7	-20,2	-14,1	-6,5	+3,3	+8,1	+8,5	+5,8	-6,6	-14,9	-17,0	-8,5
4	Нормативное значение	-25,3	-25,3	-22,2	-16,8	-8,0	+0,4	+4,8	+5,0	+1,7	-7,6	-17,6	-22,1	-11,1
5	Солнечная радиация	Диксон	-	-	-	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	-	+0,7
6	Приведённое значение	-25,3	-25,3	-22,2	-15,4	-6,6	+1,8	+6,2	+6,4	+3,1	-7,6	-17,6	-22,1	-10,4
7	Нормативное значение	-19,6	-19,3	-15,4	-10,0	-2,4	+5,1	+9,2	+8,0	+3,9	-3,9	-12,1	-16,2	-6,1
8	Солнечная радиация	«М»	-	-	-	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	-	+0,7
9	Приведённое значение	-19,6	-19,3	-15,4	-8,6	-1,0	+6,5	+10,6	+9,4	+5,3	-3,9	-12,1	-16,2	-5,4

Таблица Б.3 - Температура наружного воздуха в регионе II

№ п/п	Наименова- ние параметров	Географичес- кий центр	Среднемесчные значения температур, град										Средне- годовое значение	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Нормативное значение	-21,6	-21,9	-17,3	-12,8	-5,2	+2,3	+7,3	+7,2	+3,8	-4,2	-12,7	-17,9	-7,8
2	Солнечная радиация	Меррасале	-	-	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	-	+0,7
3	Приведённое значение	-21,6	-21,9	-17,3	-11,4	-3,8	+3,7	+8,7	+8,6	+5,2	-4,2	-12,7	-17,9	-7,1
4	Нормативное значение	-28,1	-27,3	-21,6	-14,9	-5,4	+6,1	+13,7	+10,8	+3,9	-8,3	-20,5	-24,7	-9,7
5	Солнечная радиация	Дулника	-	-	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	-	+0,7
6	Приведённое значение	-28,1	-27,3	-21,6	-13,5	-4,0	+7,5	+15,1	+12,2	+5,3	-8,3	-20,5	-24,7	-9,0
7	Нормативное значение	-19,6	-19,3	-15,4	-10,0	-2,4	+5,1	+9,2	+8,0	+3,9	-3,9	-12,1	-16,2	-6,1
8	Солнечная радиация «Р»	-	-	-	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	-	+0,7
9	Приведённое значение	-19,6	-19,3	-15,4	-8,6	-1,0	+6,5	+10,6	+9,4	+5,3	-3,9	-12,1	-16,2	-5,4

Таблица Б.4 - Температура наружного воздуха в регионе III

№ п/п	Наименование параметров	Наименование географического центра	Среднемесечные значения температур, град										Средне- годовое значение		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1	Нормативное значение	-24,1	-23,1	-15,1	-8,6	-0,8	+9,2	+14,6	+11,2	+5,4	-3,8	-14,9	-20,3	-5,9	
2	Добавка за счёт солнечной радиации	г. Салехард	-	-	-	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	-	-	-	+1,3	
3	Приведённое значение	-24,1	-23,1	-15,1	-6,0	+1,8	+11,8	+17,2	+13,8	+8,0	-3,8	-14,9	-20,3	-4,6	
4	Нормативное значение	-36,7	-33,5	-22,3	-11,0	-0,8	+10,4	+15,0	+11,0	+2,4	-11,2	-28,2	-33,7	-11,5	
5	Солнечная радиация	г. Оленёк	-	-	-	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	-	-	-	+1,3	
6	Приведённое значение	-36,7	-33,5	-22,3	-8,4	+1,8	+13,0	+17,6	+13,6	+5,0	-11,2	-28,2	-33,7	-10,2	
7	Нормативное значение	Среднее значение	30,4	-28,3	-18,7	-9,8	-0,8	+9,8	+14,8	+11,1	+3,9	-7,5	-21,6	-27,0	-8,7
8	Солнечная радиация	«N»	-	-	-	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	-	-	-	+1,3	
9	Приведённое значение		-30,4	-28,3	-18,7	-7,2	+1,8	+12,4	+17,4	+13,7	+6,5	-7,5	-21,6	-27,0	-7,4

Таблица Б.5 - Температура наружного воздуха в регионе IV

№ п/п	Наименование параметров	Географический центр	Среднемесечные значения температур, град										Средне- годовое значение	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Нормативное значение		-35,6	-31,3	-17,8	-6,3	+3,5	+13,2	+16,9	+12,7	+4,9	-6,8	-24,2	-32,3
2	Солнечная радиация	Тура	-	-	-	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	-	-	+1,7
3	Приведённое значение		-35,6	-31,3	-17,8	-2,9	+6,9	+16,6	+20,3	+16,1	+8,3	-6,8	-24,2	-32,3
4	Нормативное значение		-22,8	-20,0	-11,4	-4,0	+2,2	+8,4	+10,8	+8,1	+3,1	-4,4	-15,5	-20,7
5	Солнечная радиация	«S»	-	-	-	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	-	-	+2,1
6	Приведённое значение		-22,8	-20,0	-11,4	+0,2	+6,4	+12,6	+15,0	+12,3	+7,3	-4,4	-15,5	-20,7

Таблица Б.6 - Температура наружного воздуха в регионе V

№ п/п	Наименование параметров	Географический центр	Среднемесечные значения температур, град										Средне- годовое значение	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Нормативное значение		-39,1	-34,6	-20,3	-4,7	+7,5	+16,2	+19,3	+15,2	+5,9	-7,8	-27,8	-37,8
2	Солнечная радиация	Якутск	-	-	-	+4,2	+4,2	+4,2	+4,2	+4,2	+4,2	-	-	+2,1
3	Приведённое значение		-39,1	-34,6	-20,3	-0,5	+11,7	+20,4	+23,5	+19,4	+10,1	-7,8	-27,8	-37,8
4	Нормативное значение		-31,0	-27,1	-16,0	-5,3	+4,9	+14,2	+17,3	+13,5	+5,0	-6,8	-22,2	-29,3
5	Солнечная радиация	Мирный	-	-	-	+4,2	+4,2	+4,2	+4,2	+4,2	+4,2	-	-	+2,1
6	Приведённое значение		-31,0	-27,1	-16,0	-1,1	+9,1	+18,4	+21,5	+17,7	+9,2	-6,8	-22,2	-29,3
														-4,8

и на Чукотке, и в Хабаровском крае (где тоже есть мерзлота). Температурный режим в этих зонах будет формироваться по-разному. Таких параметров можно привести много. Они будут формировать шестую группу – группу особых случаев. Однако характеристики приведённых на карте регионов охватывают практически всю территорию мерзлоты, и в шестой группе основные закономерности, полученные при изучении 5 регионов, сохраняются. Количественная сторона может быть уточнена расчётом.

Приложение В. Методика определения термического сопротивления снежного покрова (к разделам 3, 6.1-10.1)

Термическое сопротивление снежного покрова R_c определяется по формуле

$$R_c = \frac{h_{ch}}{\lambda_{ch} \cdot F}, \quad (\text{B.1})$$

где

h_{ch} - расчётная величина снежных отложений, м,

λ_{ch} - коэффициент теплопроводности снежных отложений ккал/(м·час·град),

$F = 1 \text{ м}^2$.

Расчётная величина снежных отложений « h_{ch} » определена как разность очертания рекомендуемой схемы поперечного сечения насыпи (главы 6 ÷ 10) и очертания снежных заносов в соответствии с табл. Б.1 Приложения Б. При этом изменения толщины снежных отложений в течение года определять по табл. В.1, а его плотности – по табл. В.2. Для ненарушенной строительством территории толщину снежных отложений принимать по справочной литературе или по данным метеостанции.

Коэффициент теплопроводности снега определяется по формуле

$$\lambda = 0,18 + 0,87\rho, \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}),$$

где

ρ - плотность снега, $\text{т}/\text{м}^3$.

Таблица В.1 - Изменение толщины снега в течение года, м (б/разм)

№№ регионов	Месяцы года											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	0,68	0,78	0,86	1,00	0,92	0,35	-	-	-	0,08	0,24	0,41
II	0,82	0,88	0,93	1,00	0,75	0,15	-	-	-	0,09	0,35	0,55
III	0,95	0,98	1,00	1,00	0,60	-	-	-	-	0,10	0,45	0,66
IV	0,89	0,97	1,00	0,81	-	-	-	-	-	0,10	0,42	0,66
V	0,82	0,96	1,00	0,61	-	-	-	-	-	0,11	0,39	0,61

Таблица В.2 - Плотность снега ρ (т/м³) в различных регионах

№№ регионов	Месяцы года											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	0,37	0,37	0,37	0,38	0,40	0,40	-	-	-	0,24	0,30	0,34
II	0,35	0,35	0,35	0,36	0,38	0,38	-	-	-	0,22	0,27	0,31
III	0,28	0,28	0,29	0,32	0,35	-	-	-	-	0,19	0,23	0,27
IV	0,21	0,21	0,25	0,28	-	-	-	-	-	0,15	0,18	0,20
V	0,15	0,16	0,22	0,24	-	-	-	-	-	0,12	0,13	0,14

Приложение Г. Методика определения коэффициентов теплопередачи для различных зон граничных условий в пределах расчётной области (к разделам 3, 6.1-10.1)

Г.1. Постановка вопроса

Методика определения коэффициентов теплопередачи охарактеризована на примере поперечного сечения насыпи высотой 6,0 м для региона II (схема II-5). Основные данные по расчётной области представлены на рис. Г.1. Дополнительные пояснения по формированию расчётной области см. в разделе 3.2.

Определение коэффициентов теплопередачи проводили в четыре этапа:

- определение коэффициентов теплопередачи без учёта теплоизоляции в пределах нарушенной территории;
- определение коэффициентов теплопередачи с учётом теплоизоляции;
- определение коэффициентов теплопередачи в пределах ненарушенной территории;
- формирование сводной таблицы коэффициентов теплопередачи для рассматриваемой расчётной области.

Г.2. Определение коэффициентов теплопередачи без учёта теплоизоляции в пределах нарушенной территории

Под нарушенной территорией понимается непосредственно зона насыпи и прилежащая территория с нарушенным растительным покровом или повышенным снежным покровом, на рис. Г.1 - это зона граничных условий №№ 1, 2, 3, 4, 5.

Определение коэффициентов теплопередачи производим в табличной форме (табл. Г.1).

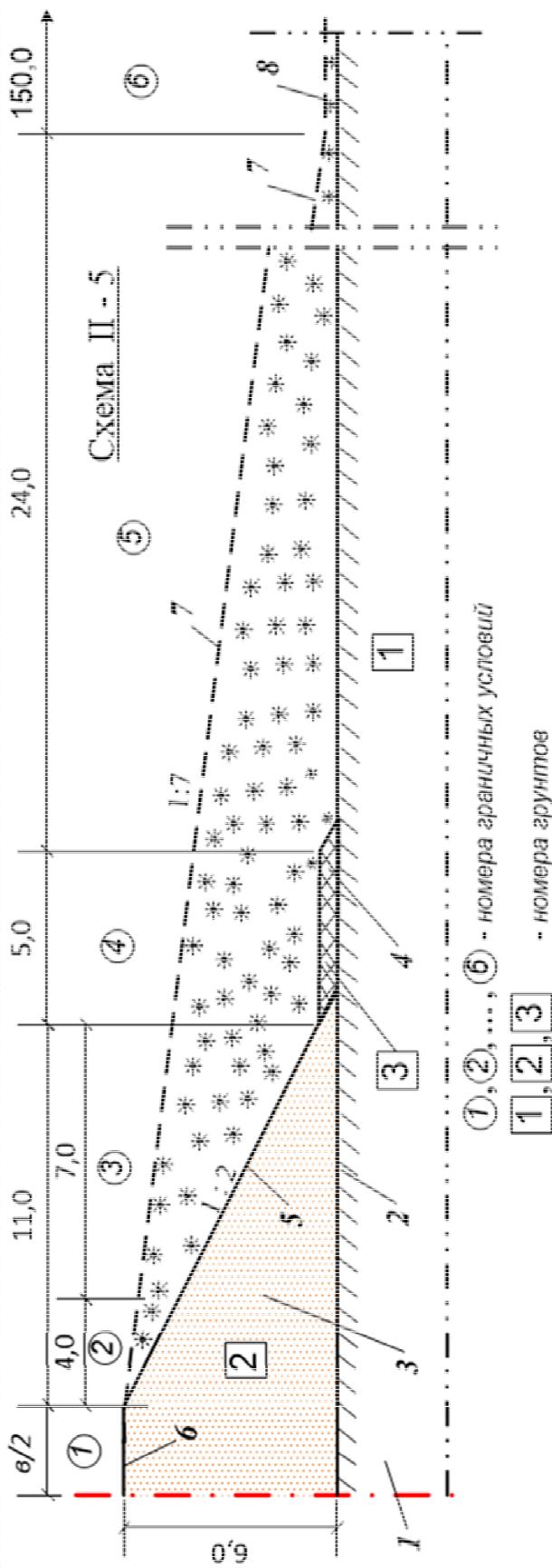


Рисунок Г.1 - Рекомендуемое поперечное сечение насыпи высотой 6 м для региона II: 1 – грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – берма, 5 – откос насыпи, 6 – основная площадка насыпи, 7 – откос снежных отложений, 8 – поверхность снежных отложений в нарушенной зоне

Таблица Г.1 - Определение коэффициентов теплопередачи А для различной толщины снежного покрова. Регион II.
Схема II.-5

N п/п	Наименование параметров	Толщина слоя, м	Месяцы года										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Изменение толщины снега в течение года, б/разм.	Для всех	0,82	0,88	0,93	1,00	0,75	0,15	-	-	0,09	0,35	0,55
2	Плотность снега, г/м ³ , ρ	- « -	0,35	0,35	0,35	0,36	0,38	0,38	-	-	-	0,22	0,27
3	Коэффициент теплопро- водности, ккал/(м·час·град) $\lambda_{\text{сн}} = 0,018 + 0,87\rho$	- « -	0,32	0,32	0,33	0,35	0,35	-	-	-	0,21	0,25	0,29
4	Высота снега, $h_{\text{сн}}, \text{м}$	Зона 2 Зона 3 Зона 4 Зона 5	0,74 2,74 3,79 1,94	0,61 2,25 3,11 1,59	0,65 2,41 3,34 1,71	0,69 2,55 3,52 1,80	0,74 2,74 3,79 1,94	0,56 2,06 2,84 1,46	0,11 0,41 0,57 0,29	-	-	0,07	0,26
5												0,25	0,96
6												1,34	1,33
7												2,08	2,08
8	Термическое сопротивление снега, (час·град)/ккал	2,74 3,79	7,03 9,72	7,53 10,44	7,97 11,00	8,30 11,48	5,89 8,11	1,17 1,63	-	-	0,17	0,68	1,07
9												0,33	1,04
10												1,19	3,84
11												5,21	5,21
12	Коэффициент теплопередачи, A, ккал/(м ² ·час·град), $A = 1/(R_{\text{сн}} + 0,05)$	0,74 2,74 3,79 1,94	0,51 0,14 0,10 0,20	0,48 0,13 0,10 0,19	0,45 0,12 0,09 0,18	0,44 0,12 0,09 0,17	0,61 0,17 0,12 0,17	2,78 0,82 0,60 0,24	20 20 20 20	20 20 20 20	2,63	0,92	0,68
13												0,81	2,72
14												0,26	0,19
15												0,60	0,19
16												1,16	0,36
17	Коэффициент теплопередачи на наклонную поверхность при i=1:2 $k_1=0,893$	0,74	0,13	0,12	0,11	0,11	0,15	0,73	20	20	0,72	0,23	0,17
18	Коэффициент теплопередачи с учетом ступенчатости разбивки при i=1:2, $k_2 = 0,745$	0,74 2,74	0,34 0,10	0,32 0,09	0,30 0,08	0,29 0,08	0,40 0,11	1,85 0,54	14,9 14,9	14,9 14,9	1,75	0,61	0,45
19												0,54	0,17
												0,13	

Строчка 1 таблицы (изменения толщины снега в течение года, т.е. отношение среднемесячной толщины снега к среднемесячной толщине снега в том месяце, когда она достигает максимума) принимается по табл. В.1 Приложения В. Строчка 2 таблицы (плотность снега) принимается по табл. В.2 Приложения В. Строчка 3 (коэффициент теплопроводности снега) определяется по данным строчки 2 этой таблицы и рекомендациям Приложения В.

В строчках 4, 5, 6, 7 в колонке «4-ый месяц (апрель – в этом месяце в строчке 1 стоит цифра 1.00) для зон 2, 3, 4, 5 (рис. Г.1) проставляются средние толщины снега (в вертикальном направлении) для этих зон: 0,74 м, 2,74 м, 3,79 м, 1,94 м. Далее в соответствии с соотношениями, приведёнными в строчке 1 этой таблицы, заполняются остальные колонки этих строчек.

В строчках 8, 9, 10, 11 определены термические сопротивления снега в пределах указанных зон, а в строках 12, 13, 14, 15 - коэффициенты теплопередачи в соответствии с рекомендациями раздела 3.3.3 главы 3. Термические сопротивления и коэффициенты теплопередачи определены на горизонтальную поверхность. Для зон 2 и 3, расположенных на откосе насыпи, коэффициенты теплопередачи на наклонную поверхность приведены в строчках 16 и 17, а с учётом ступенчатой разбивки расчётной схемы на блоки (т.е. без треугольных блоков) коэффициенты теплопередачи приведены в строках 18 и 19.

Г.3. Определение коэффициентов теплопередачи с учётом теплоизоляции

Определение коэффициентов теплопередачи с учетом теплоизоляции производим в качестве примера для наиболее сложных зон (зон 2 и 3), расположенных на откосе насыпи. В качестве теплоизоляции использованы плиты пенополистирола фирмы ТЕХНОНИКОЛЬ: для зоны 2 толщиной 0,1 м, для зоны 3 - толщиной 0,2 м. Определение коэффициентов теплопередачи приведено в таблице Г.2.

Таблица Г.2 - Определение коэффициента теплопередачи А для различной толщины снежного покрова с учётом теплоизоляции. Регион II. Схема II.-5

N п/п	Наименование параметров	Тол- щина снег- го покро- ва, м	Толщ. пено- стиро- ла, м	Месяцы года								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Коэффициент теплопередачи на наклонную поверхность, $A_1, \text{ккал}(\text{м}^2\cdot\text{час})/\text{град}$ при $i = 1,2$	0,74	-	0,46	0,43	0,40	0,39	0,54	2,48	20,0	20,0	2,35
2		2,74	-	0,13	0,12	0,11	0,11	0,15	0,73	20,0	20,0	0,72
3	Термическое сопротивление на наклонную поверхность, при $i = 1,2$, $R_1 = 1/A_1, (\text{час}\cdot\text{град})/\text{кал}$	0,74	-	2,17	2,33	2,50	2,56	1,85	0,40	0,05	0,05	0,43
4		2,74	-	7,69	8,33	9,09	9,09	6,67	1,37	0,05	0,05	1,22
5	Термическое сопротивление пеноэтистриола на наклонную поверхность, при $i=1,2, R_0 = h_0/\lambda_0$	0,74	0,1	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23
6		2,74	0,2	6,45	6,45	6,45	6,45	6,45	6,45	6,45	6,45	6,45
7	Суммарное термическое сопротивление на наклонную поверхность, $R_3 = R_1 + R_0$	0,74	0,1	5,40	5,56	5,73	5,79	5,08	3,63	3,28	3,28	3,66
8		2,74	0,2	14,14	14,78	15,54	15,54	13,12	7,82	6,50	6,50	7,84
9	Суммарный коэффициент теплопередачи на наклонную поверхность, $A_3 = 1/R_3$	0,74	0,1	0,19	0,18	0,17	0,17	0,20	0,28	0,30	0,30	0,27
10		2,74	0,2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,13	0,15	0,15	0,13
11	Суммарный коэффициент теплопередачи с учётом ступенчатости, $k_2=0,745$	0,74	0,1	0,14	0,13	0,13	0,13	0,15	0,21	0,22	0,22	0,20
12		2,74	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	0,11	0,11	0,11	0,07

Г.4. Определение коэффициентов теплопередачи в пределах ненарушенной территории

При проектировании конкретных объектов в процессе расчёта (математического моделирования теплового процесса) температурный режим в пределах насыпи формируется как за счёт новых граничных условий в пределах насыпи (точнее, нарушенной территории), так и за счёт влияния соседней территории (см. раздел 3.2 главы 3). Температура грунта в пределах ненарушенной территории известна (см. раздел 3.5 главы 3). Необходимо найти коэффициенты теплопередачи, при которых в процессе моделирования будет обеспечиваться эта заданная температура. Эти коэффициенты определяются решением обратной задачи (т.е. методом подбора). Было решено три обратных задачи: для температуры воздуха п. «Р», Мерресале и Дудинки.

Г.5. Формирование сводной таблицы коэффициентов теплопередачи для рассматриваемой области

Для проведения теплофизических расчётов по каждой расчётной схеме рекомендуются данные, полученные по методике, изложенной в пп. Г.2, Г.3, Г.4, сформировать в единой таблице. Для схемы II-5 эти данные объединены в табл. Г.3.

Таблица Г.3 - Коэффициент теплопередачи для схемы II-5

N п/п	Месяцы года											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Без теплоизоляции												
1	1,94	1,83	1,94	1,94	3,38	20,00	20,00	20,00	20,00	7,41	2,97	2,37
2	0,34	0,32	0,30	0,29	0,40	1,85	14,90	14,90	14,90	1,75	0,61	0,45
3	0,10	0,09	0,08	0,08	0,11	0,54	14,90	14,90	14,90	0,54	0,17	0,13
4	0,10	0,10	0,09	0,09	0,12	0,60	20,00	20,00	20,00	0,60	0,19	0,14
5	0,20	0,19	0,18	0,17	0,24	1,14	20,00	20,00	20,00	1,16	0,36	0,27
6 (п. «Р»)	0,48	0,47	0,46	0,45	0,59	5,26	2,0	2,0	2,0	3,86	0,67	0,50
6(Мерресале)	0,36	0,35	0,33	0,32	0,40	5,05	2,0	2,0	2,0	3,80	0,41	0,38
6 (Дудинка)	0,38	0,37	0,36	0,33	0,42	5,20	2,0	2,0	2,0	3,40	0,50	0,41
С теплоизоляцией												
2 (0,1м)	0,14	0,13	0,13	0,13	0,15	0,21	0,22	0,22	0,22	0,20	0,16	0,16
3 (0,2м)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,07	0,06

Приложение Д. Оценка степени охлаждающего влияния теплоизоляции и снежного покрова (к разделам 6.1-10.1)

Д.1. Оценка степени охлаждающего влияния теплоизоляции

Мерзлота сохраняется в грунтах в том случае, если годовой тепловой баланс отрицательный. Зимой в грунт поступает холод, летом поступает тепло. Тепловой баланс будет отрицательный, если холода в грунт поступит больше, чем тепла.

Хотя в данном случае рассматриваются регионы, где среднегодовая температура наружного воздуха отрицательная, условия для поступления в грунт холода и тепла разные. Зимой формируются снежные отложения, весьма значительные при наличии снегопереноса. Эти отложения формируют термическое сопротивление, которое препятствует поступлению холода в грунт. Летом этого дополнительного термического сопротивления нет. И при оголённой от растительности поверхности термическое сопротивление определяется только величиной, обратной коэффициенту теплоотдачи, от твёрдой поверхности в газообразную (воздушную) среду.

Другими словами, отношения зимнего (среднезимнего) к летнему (среднелетнему) термическому сопротивлению на поверхности определяется величиной, намного превышающей единицу и могущей достигать десятка и более. Снизить это отношение может укладываемая на поверхность грунта теплоизоляция.

Для оценки влияния теплоизоляции на температурный режим было проведено несколько серий расчётов, результаты которых представлены для регионов I, III, V на рис. Д.1, Д.2, Д.3. На этих рисунках приведены зависимости температур грунта на глубине нулевых амплитуд в установившемся режиме от величины термического сопротивления на поверхности с учётом теплоизоляции. При этом термическим сопротивлениям 2,0, 4,0, 6,0, 8,0 12,0 соответствуют толщины снега средней плотности в январе месяце 0,4 м, 0,8 м, 1,2 м, 1,6 м, 2,4 м.

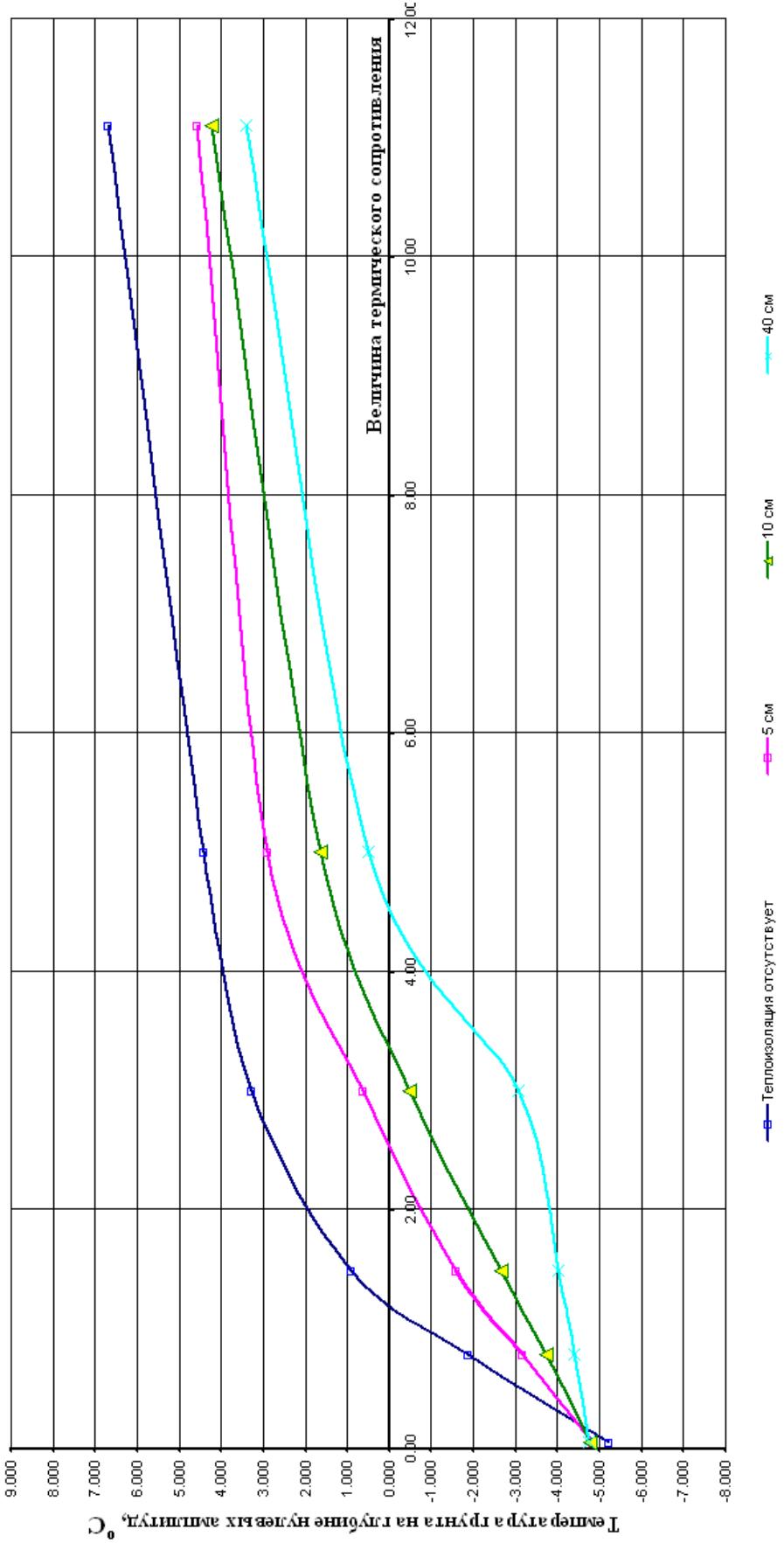


Рисунок Д.1 – Зависимости температуры грунта на глубине нулевых амплитуд в установившемся режиме от величины естественного термического сопротивления на поверхности при наличии снежного покрова и при различных толщинах теплоизоляции на поверхностях для г. Салехарда (регион III)

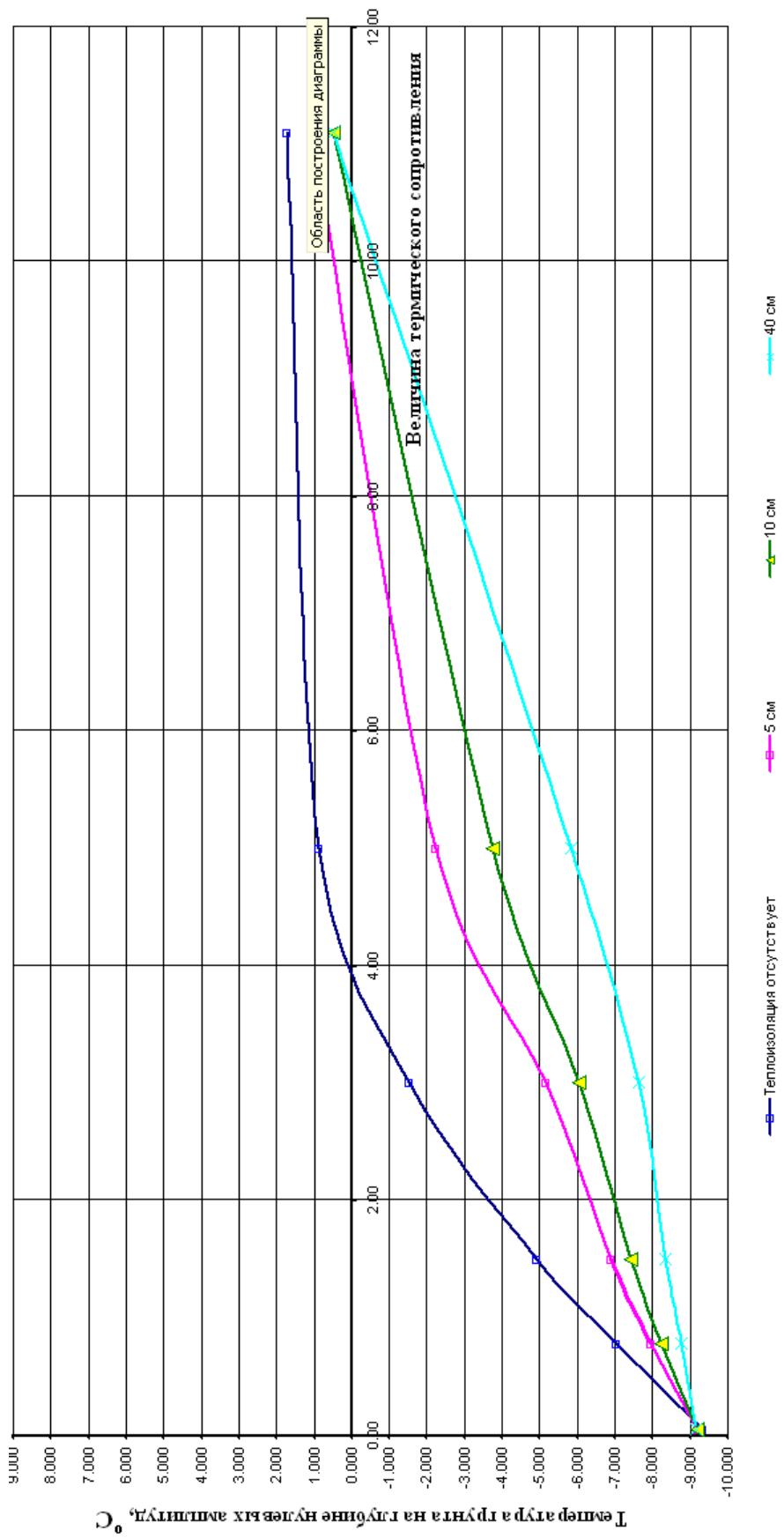


Рисунок Д.2 – Зависимости температуры грунта на глубине нулевых амплитуд в установленном режиме от величины естественного термического сопротивления на поверхности при наличии снежного покрова и при различных толщинах теплоизоляции на поверхностях теплоизоляции для г. Харасавея (регион I)

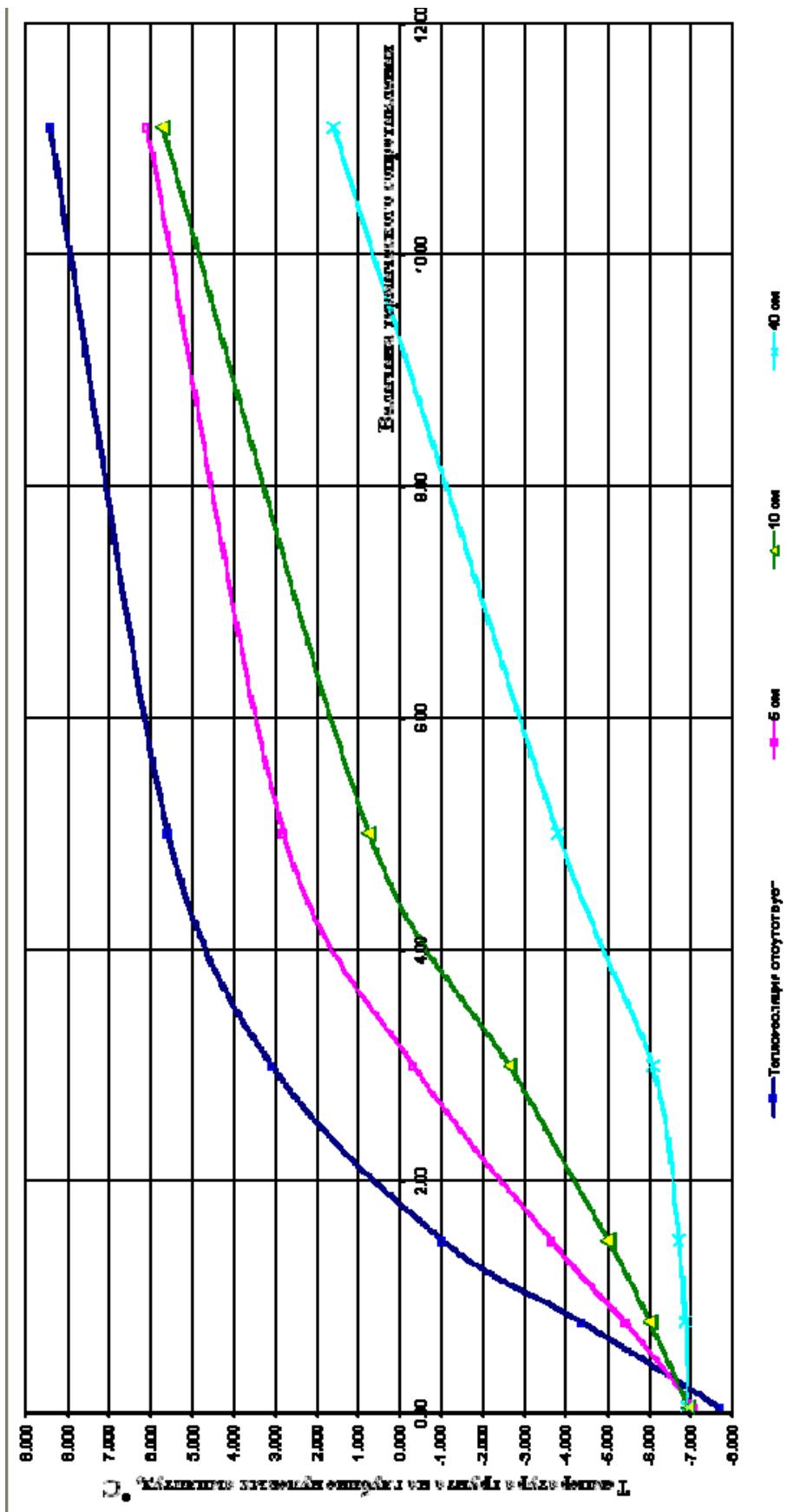


Рисунок Д.3 – Зависимости температуры грунта на глубине нулевых амплитуд в установившемся режиме от величины естественного термического сопротивления на поверхности при наличии снежного покрова и при различных толщинах теплоизоляции на поверхностях для г. Якутска (регион V)

Из этих графиков мы видим, что при отсутствии зимой снега температуры на глубине нулевых амплитуд такие же практически без применения теплоизоляции, как и при наличии теплоизоляции (теплоизоляция при этом работала только как амортизатор), но при повышении толщины снега до 0,2 м температура грунта на глубине нулевых амплитуд при наличии теплоизоляции начинает резко понижаться по сравнению с вариантом, когда теплоизоляция отсутствует. Уже при толщине теплоизоляции 0,05 м охлаждающий эффект достигает нескольких градусов, а при толщине теплоизоляции 0,4 м достигает 7°C.

Вместе с тем все три серии графиков имеют общие свойства: несмотря на то, что в различных регионах пересечения участков с горизонтальной осью координат разная, относительные значения охлаждения примерно одинаковые. Поэтому можно сделать важный вывод: при конструировании насыпи можно сразу назначить толщину теплоизоляции.

Можно сформулировать следующее: теплоизоляция в виде пенополистирола XPS ТехноНиколь толщиной « Δ » 5 см понижает температуру грунта на глубине нулевых амплитуд на 2°C, толщиной 10 см - на 3°C, толщиной 40 см - на 5°C.

Эти значения следует принимать в диапазоне толщин снега « δ » от 0,4 м до 2,0 м. При $\delta = 0$ и при $\delta \geq 3,0$ м $\Delta = 0$, в интервалах $0 \leq \Delta \leq 0,4$ м и $0,4$ м и $2,0 \leq \Delta \leq 3,0$ м значение « Δ » определяется по линейной интерполяции.

Д.2. Оценка расщепляющего влияния снега

В отличие от теплоизоляции, которая во всех регионах работает практически одинаково, снежные заносы влияют на температурный режим в разных регионах по-разному, причём это отличие очень разное. На рис. Д.4 представлено сопоставление зависимости температуры грунта на глубине нулевых амплитуд от толщины снежного покрова для всех пяти регионов. Графики взяты из рис. 6.1, 7.1, 8.1, 9.1, 10.1 для нормативной температуры наружного примерно минус 9°C. Из рис. Д.4 видна разница температур для одной и той же толщины снега для разных регионов:

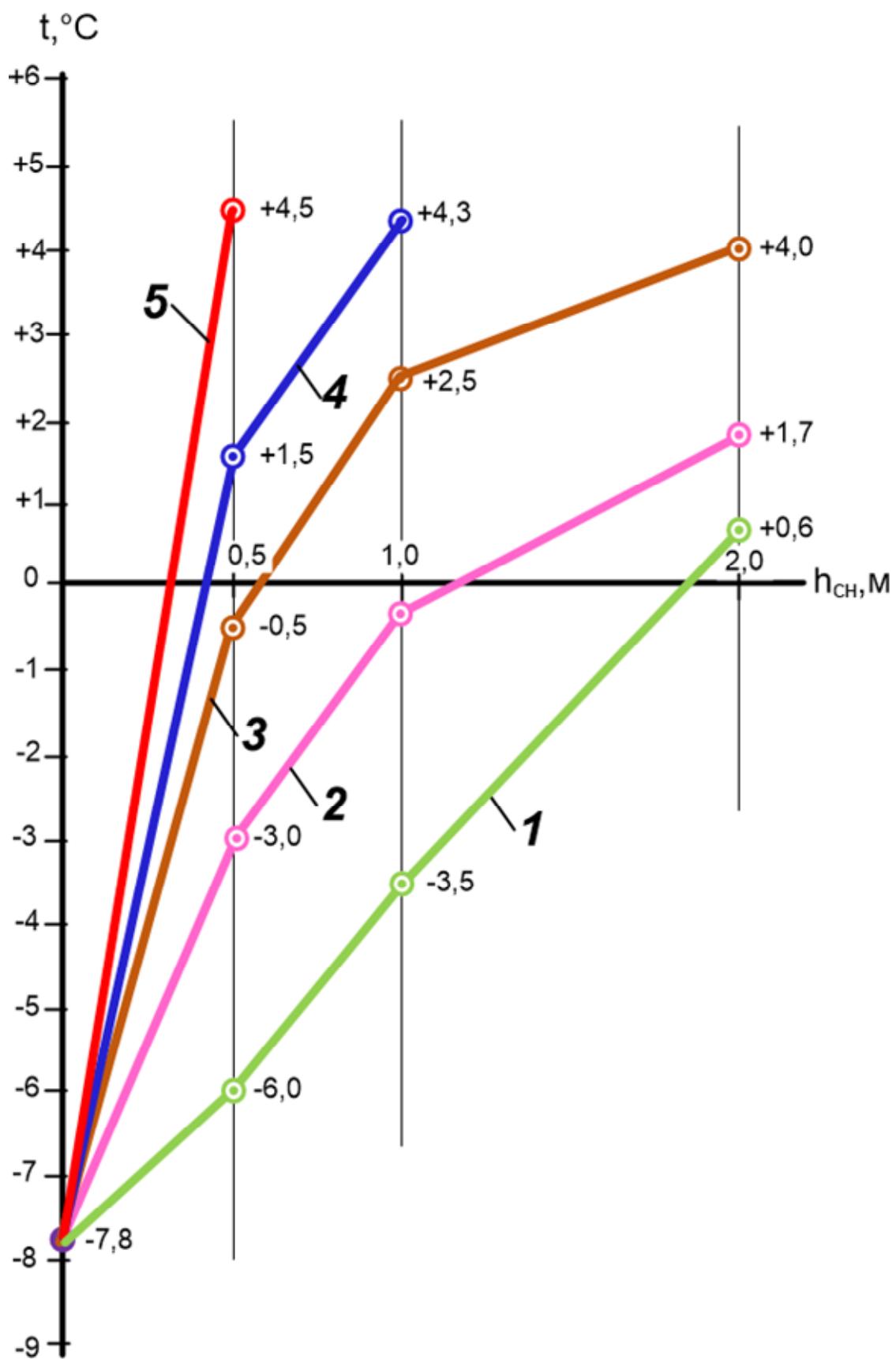


Рисунок Д.4 - Сопоставление зависимости температуры грунта на глубине нулевых амплитуд от толщины снежного покрова для различных регионов: 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно для регионов I, II, III, IV, V

например, при одной и той же толщине снега 0,5 м температура грунта на глубине нулевых амплитуд для региона I равна минус 6°C, для региона V - плюс 4,5°C.

Следует отметить и ещё очень важную особенность. Зависимости, приведённые на рис. 6.1 ÷ 10.1, справедливы для тех областей, которые обозначены на карте рис. Б.1 (Приложение Б). Для нескольких областей III, IV, V, изображённых на карте рис. Б.1 в заполярной зоне Восточной Сибири, зависимости будут иные, и их следует определять в индивидуальном порядке.

Приложение Е. Примеры мероприятий по охлаждению грунтов (к разделам 6.1-10.1)

E.1. Общие положения

В данном приложении не ставится задача дать полный обзор мероприятий по охлаждению грунтов, а характеризуются лишь те, которые наиболее часто упоминались в данных рекомендациях. При этом даётся лишь краткая характеристика и ссылка на первоисточники, где с этим можно ознакомиться подробнее. Классификация мероприятий и их более полный обзор следует брать из других источников, в частности, в главе 1 данных Рекомендаций, в СП 354 (Приложении Е) [22] и др.

E.2. Пенополистирол ТЕХНОНИКОЛЬ

Ниже приведены два документа:

- краткий проспект по пенополистиролу ТЕХНОНИКОЛЬ;
- основные расчётные характеристики пенополистирола.

Детальные сведения могут быть получены из ГОСТ 32310-2020 [33] и на сайте <https://nav.tn.ru/catalog/teploizolyatsiya/xps-teploizolacia/>.



Экструзионный пенополистирол ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON BLOCK



Произведен согласно СТО 72746455-3.3.2-2015

ОПИСАНИЕ ПРОДУКТА:

XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON BLOCK представляет собой изделие из плит экструзионного пенополистирола, склеенных между собой, обеспечивающим высокие показатели предела прочности на отрыв между плитами.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ:

Изделия XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON BLOCK могут применяться во всех климатических районах по СП 50.13330.2012 при температуре окружающей среды от минус 70 °C до плюс 75 °C.

Изделия XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON BLOCK могут применяться в общегражданском строительстве при устройстве теплоизоляции нагружаемых фундаментов и полов, эксплуатируемых кровель, теплоизоляции железно- и автодорожных магистралей, взлетно-посадочных полос, аэродромов, а также многослойных стеновых панелей и ограждающих конструкций.



ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА:

- высокие прочностные показатели;
- точная геометрия плит;
- эффективная теплоизоляция.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКЦИИ:

Наименование показателя	Ед. изм	Критерий	ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON BLOCK						Метод испытаний
			150	200	250	300	400	500	
Прочность на сжатие при 10 % деформации	кПа	не менее	150	200	250	300	400	500	ГОСТ 17177-94
Предел прочности при статическом изгибе	кПа	не менее	100	150	200	250	300	450	ГОСТ 17177-94
Предел прочности на отрыв между плитами	кПа	не менее				200			ГОСТ EN 1607-2011
Теплопроводность при (25±5) °C*	Вт/(м·K)	не более	0,034	0,034	0,032	0,032	0,032	0,032	ГОСТ 7076-99
Группа горючести	-	-					Г4		ГОСТ 30244-94
Водопоглощение по объему	%	не более	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	ГОСТ 32310-2020 (EN 13164+A.1:2015)
Температура эксплуатации	°C	в пределах				от -70 до +75			СТО 72746455-3.3.2-2015

*Определение теплопроводности при 25 °C выполняется в течение 24 часов с момента изготовления плит.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ:

Наименование показателя	Ед. изм	Критерий	ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON BLOCK			Метод испытаний
Толщина	мм	в пределах	80	–	400	ГОСТ 17177-94
Длина	мм	в пределах	1000	–	4000	ГОСТ 17177-94
Ширина	мм	в пределах	500	–	650	ГОСТ 17177-94
Средняя ширина несквозного зазора между плитами в блоке	мм	не более	50			СТО 72746455-3.3.2-2015
Средняя глубина несквозного зазора между плитами в блоке	мм	не более	300			СТО 72746455-3.3.2-2015

ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ СОГЛАСНО:

- СТО 72746455-4.6.1-2013 «НАСЫПИ ДОРОЖНЫЕ. Рекомендации по проектированию и устройству с применением заполнителя из экструзионного пенополистирола «ТЕХНОНИКОЛЬ XPS».

ТРАНСПОРТИРОВКА:

Изделия XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON BLOCK транспортируют в крытых транспортных средствах в соответствии с Правилами перевозки грузов, действующими на транспорте данного вида.

Допускается транспортирование блоков на расстояние до 500 км в открытых автотранспортных средствах с обязательной защитой от воздействия атмосферных осадков и солнечных лучей.

ХРАНЕНИЕ:

Блоки должны храниться под навесом, защищающим их от атмосферных осадков и солнечных лучей. При хранении под навесом блоки должны быть уложены на поддоны, подставки или бруски.

Допускается хранение блоков на открытом воздухе в специальной упаковке, защищающей от внешних атмосферных воздействий.

СВЕДЕНИЯ ОБ УПАКОВКЕ:

Блоки поставляют потребителю в неупакованном виде, либо упаковывают в полиэтиленовую пленку по согласованию с потребителем.

КОДЫ ПО КЛАССИФИКАТОРАМ:

ОКПД2: 22.21.41.112

ТН ВЭД: 3921 11 000 0

КСР: -

СЕРВИСЫ:

Выполнение расчетов



Техническая консультация



Гарантии



Проектирование



Обучение



Комплексная доставка



Подбор подрядчика



Сопровождение монтажа



Поддержка при эксплуатации



ОСНОВНЫЕ РАСЧЁТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СТО «НАСЫПИ НА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА «ТЕХНОНИКОЛЬ» ДЛЯ
СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ

1. Коэффициент теплопроводности
0.036 Вт/(м·К) или 0.031 ккал/(м·час·град). К = 1.163
2. Объёмная теплоёмкость
 $30 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 1.45 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град}) = 43.5 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{град})$ или 10.4 ккал/(м³·град).
К = 4,2.
3. Толщина плит. Могут быть практически любые толщины, шаг толщины кратен 10 мм. Есть также толщины, например 70 мм, 120 мм, 130 мм, 140 мм, которые могут быть сделаны под заказ. Толщины 200 мм, 300 мм, 400 мм могут быть получены путём укладки нескольких слоёв плит.

Ответственный:

Должность, ФИО



Подпись
дата

E.3. Дорожные конструкции с применением термоармирующей геооболочки с пенополистирольными плитами

Геооболочка ГеоФРАМ представляет собой ячеистскую конструкцию, выполненную из тканого геотекстиля, и имеющую дно (рис. Е.1). Ячейки заполняют инертным материалом и используют конструкцию для армирования грунтовых сооружений. Тканый геотекстиль обладает высокой прочностью на разрыв и позволяет выдерживать нагрузки до 600 кН/м.

Термоармирующая геооболочка - это геооболочка ГеоФРАМ, в ячейки которой помещены пенополистирольные плиты, защищённые сверху инертным материалом (Патент РФ №2762303, Способ сооружения теплоизолирующей конструкции).

Монтаж геооболочки осуществляют при помощи сборно-разборного технологического каркаса. На спланированной поверхности устанавливают каркас, растягивают на нём геооболочку. На дно ячеек помещают пенополистирольные плиты, засыпают грунтом, используемым для сооружения насыпи. Затем каркас демонтируют, грунт в ячейках уплотняют, поверхность выравнивают.

При размещении геооболочки на откосе, если требуется, забивают анкера, количество которых назначают по расчёту согласно ОДМ 218 [6].

При проектировании покрытия с применением геооболочки следует учитывать рекомендации глав 12 и 13 настоящих Рекомендаций.



Рисунок Е.1 – Геооболочка ГеоФРАМ, растянутая на каркасе

E.4. Насыпь со ступенчатыми откосами в регионах с отсутствием снегопереноса [9, 11, 15, 27]

Сущность предлагаемого технического решения поясняется на рис. Е.2, где изображено поперечное сечение насыпи дороги на вечномерзлых грунтах.

Насыпь дороги содержит тело 1 насыпи, расположенное на естественном основании 2 и ограниченное сверху основной площадкой 3 насыпи, а сбоку - боковой поверхностью, которая полностью или частично выполнена ступенчатой и содержит охлаждающие участки 4. Сущность охлаждающих участков заключается в том, что они выполнены с крутым уклоном «*i*», при котором на этих участках в зимний период отложения снега уменьшаются. Уклон «*i*» оптимален как 1:0, что соответствует вертикальной поверхности. Однако это не обязательно. Отложение снега резко снижаются и при более пологих откосах, например, при уклоне 1:0,75 отложение снега составляет лишь 60% от величины этих отложений для горизонтальной поверхности. Поэтому уклон «*i*» будет определяться конструктивными возможностями и экономическими соображениями. Например, крутая поверхность может быть обеспечена укладкой габионов 5 или устройством подпорной стенки, или укладкой с крутым уклоном скального грунта с крупными фракциями. Формирование охлаждающих участков 4 с крутым уклоном неизбежно приводит к образованию участков 6 с малым уклоном. С точки зрения теплофизики, наличие участков 6 не исключает эффективности (весьма существенной) охлаждающих участков 4. Однако эффективность охлаждения оснований может быть ещё резко увеличена, если устроить перекрытия 7, которые не только способствуют исключению снегоотложений на участках 6, но и в летний период исключают отрицательное влияние солнечной радиации. Однако более простая конструкция содержит не мероприятие 7, а слой теплоизоляции на горизонтальной поверхности уступа.

На основной площадке 3 расположена конструкция проезжей части для железнодорожного или автодорожного проезда, например, балластная призма 8 с рельсошпальной решёткой.

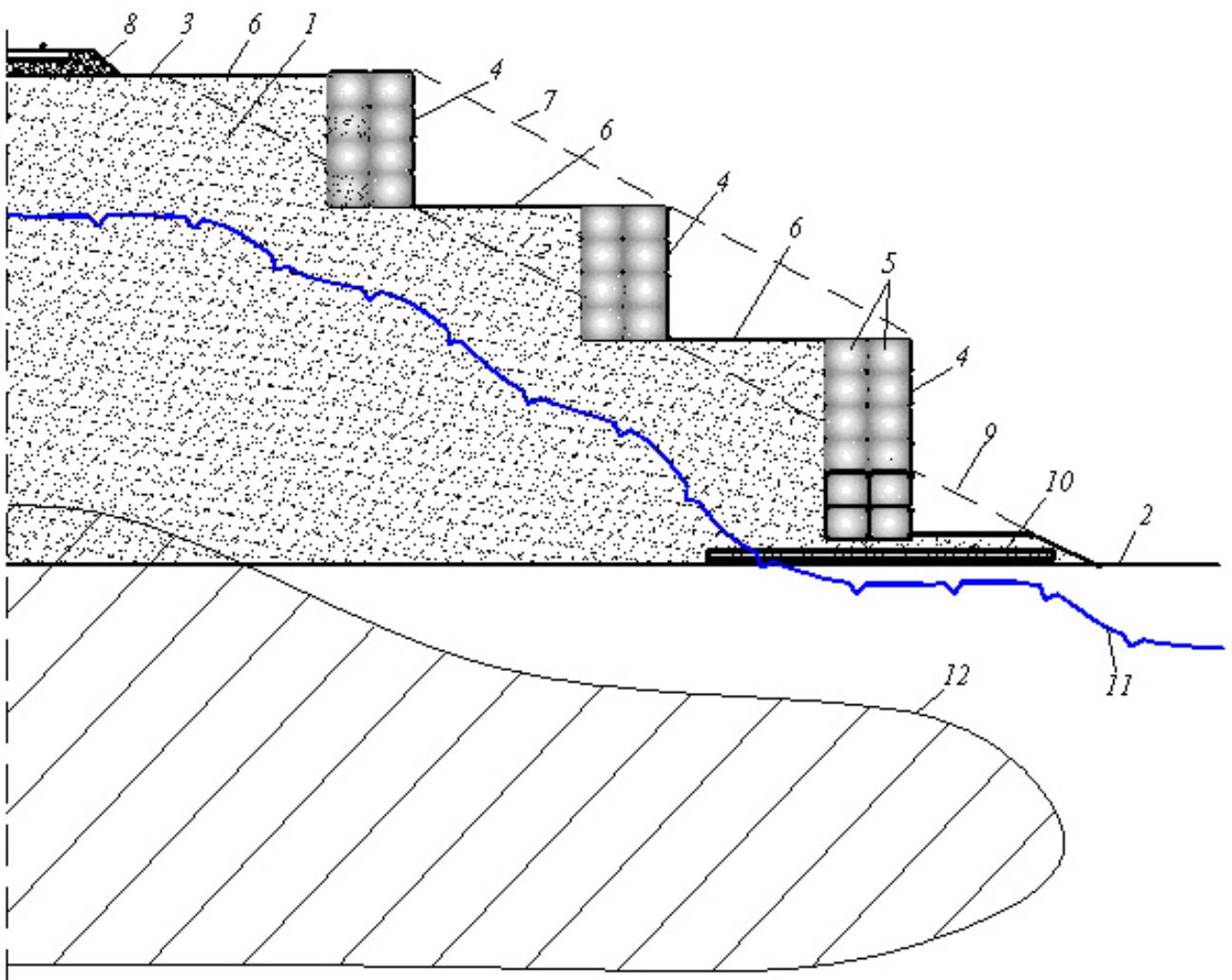


Рисунок Е.2 – Насыпь со ступенчатыми откосами в регионах с отсутствием снегопереноса

В ряде случаев «уступы» грунта на боковой поверхности насыпи, целесообразно вынести за пределы зоны напряжённого состояния от временной эксплуатационной нагрузки (например, за пределы линии 9). Тогда крутые уступы легче формировать.

Если высокольдистые грунты расположены непосредственно близко к естественной поверхности 2, то на стыке поверхностей 4 и 2 целесообразно резко сократить глубину сезонного протаивания. Для этого целесообразно уложить слой теплоизоляции 10.

Предложенная конструкция насыпи позволяет обеспечить положение нулевой изотермы на момент окончания тёплого периода года в соответствии с позицией 11, а в результате охлаждающего влияния насыпи на грунты основания в них формируется ядро с резко пониженной температурой. Границы этого ядра показаны позицией 12.

Насыпь дороги работает следующим образом.

В связи с тем, что в зимний период поверхности 4 оголены от снега, через эти поверхности без сопротивления проходят тепловые потоки как в тёплые, так и в холодные периоды года. Однако в связи с тем, что среднегодовая температура воздуха отрицательная, суммарный тепловой баланс отрицателен. В результате формируется ядро твёрдомерзлого грунта с низкой температурой. Подробнее о техническом решении см. в патенте на ПМ [17].

E.5. Термоопоры [12, 14, 22]

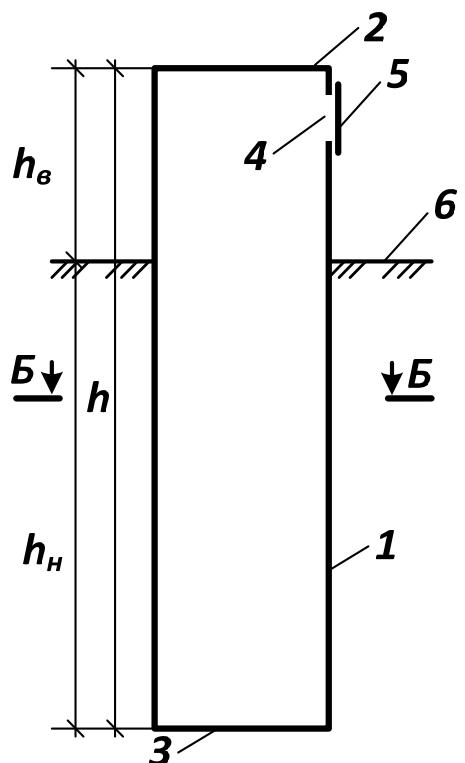
Принципиальные схемы термоопор приведены на рис. Е.3 и Е.4. Термоопора содержит внешнюю трубу 1, замкнутую с торцов крышками 2 и 3. В стенке внешней трубы выполнено отверстие 4, закрываемое крышкой 5. Термоопора устанавливается вертикально в грунт таким образом, что часть её возвышается над уровнем 6 грунта, а часть расположена ниже уровня 6. Высота надземной и подземной частей равна соответственно h_b и h_h . В термоопоре коаксиального типа имеется также внутренняя труба 7, размещенная во внешней трубе 1 таким образом, чтобы снизу и сверху оставался зазор между торцом трубы 7 и крышками 2 и 3 соответственно C_b и C_h . При этом площади поперечного сечения внутренней трубы и кольцевого зазора должны быть примерно равны.

Труба 1 является основной несущей конструкцией, её сечение и толщина стенок подбираются из условий обеспечения этой несущей способности. Из условий обеспечения конвекции воздуха её диаметр может назначаться 1-2 м, хотя при определённых условиях могут хорошо работать термоопоры диаметром 0,5 м и диаметром несколько метров. Труба 1 может быть железобетонной, металлической или из другого материала. На сегодняшний момент наилучшей является металлическая труба, поскольку, во-первых, лучше воспринимает наружные потоки холода в своей надземной части, а с другой, - обеспечивает наилучшим образом водонепроницаемость.

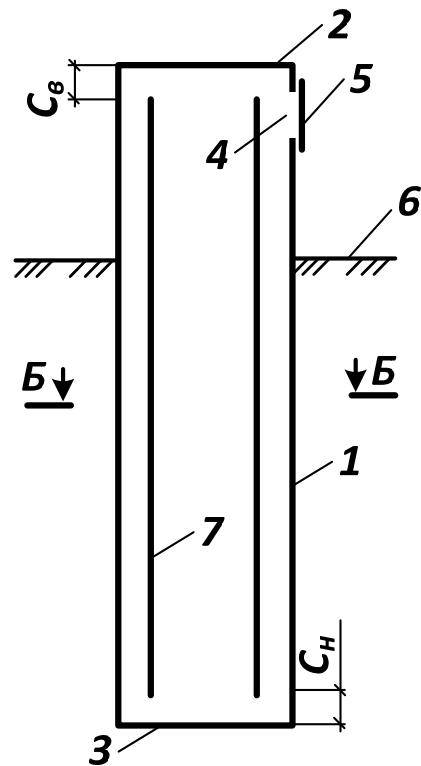
Преимуществом термоопор по сравнению с термостабилизаторами является то, что они одновременно являются и несущими конструкциями, и охлаждающими системами, и контролирующими системами (не требуются отдельно термоскважины). Если термоопора используется только как охлаждающая система, то труба 1 имеет гораздо меньшую несущую способность, т.е. более экономична.

Крышки 2 и 3 обеспечивают замкнутость полости внутри трубы 1. Замкнутость полости необходима для того, чтобы конвекция внутри полости происходила практически одного и того же воздуха. Если в конвекции будет

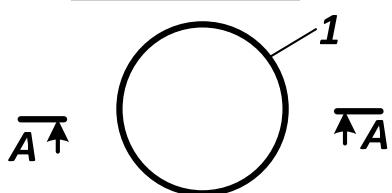
Сечение А - А



Сечение А - А



Сечение Б - Б



Сечение Б - Б

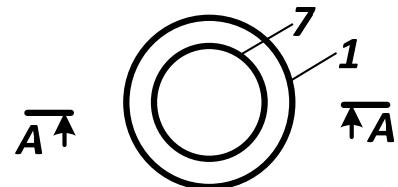


Рисунок Е.3 – Принципиальная схема термоопоры сквозного типа

Рисунок Е.4 – Принципиальная схема термоопоры коаксиального типа

участвовать наружный воздух, то полость наполнится инеем и перестанет работать как охлаждающая система. При этом очень важно то, что замкнутость полости не означает герметичность. Наличие небольшого отверстия 4 с крышкой 5 не приведёт к участию наружного воздуха в конвекции внутри полости трубы 1. Отверстие 4 необходимо не для работы системы, а для пропуска термодатчиков, а также для периодического контроля факта существования самой полости, то есть не заполнилась ли эта полость водой или льдом. Конструктивно крышки 2 и 3 могут быть выполнены различным образом. Например, крышка 2 - это ригель опоры, крышка 3 - металлическое дно или железобетонная пробка.

Труба 7 служит только для разделения воздушных потоков, поэтому требуют минимального расхода материала (то есть в идеале может быть выполнена из фольги). Фактически труба 7 должна быть рассчитана на прочность, исходя из монтажных нагрузок в процессе возведения термоопоры. Труба 7 фиксируется в трубе 1 в определённом положении с помощью различных подкладок и упоров.

E.6. Верхняя боковая охлаждающая площадка [10, 16]

Верхняя боковая охлаждающая площадка предназначается для увеличения оголённой от снега поверхности, т.е. увеличения зоны интенсивного охлаждения и размещения при необходимости габионов-диодов, выполненных из камня и предназначенных для увеличения степени охлаждения.

Тело 1 (рис. Е.5) насыпи высотой h расположено на естественной поверхности 2. Сверху насыпь ограничена основной площадкой 3, на которой расположена балластная призма 4 шириной $b_{\text{пр}}$, которую условно назовём шириной проезда, и толщиной $\delta_{\text{пр}}$. С боков насыпь ограничена откосом 5 с уклоном 1:i. В пределах обочины ($b_{\text{об}}$) и в верхней части откоса ($b_{\text{от}}$) на глубине δ_2 расположена призма 6 толщиной δ_1 и состоящей из габионов с сортированным камнем размером, как правило, 20 - 40 см.

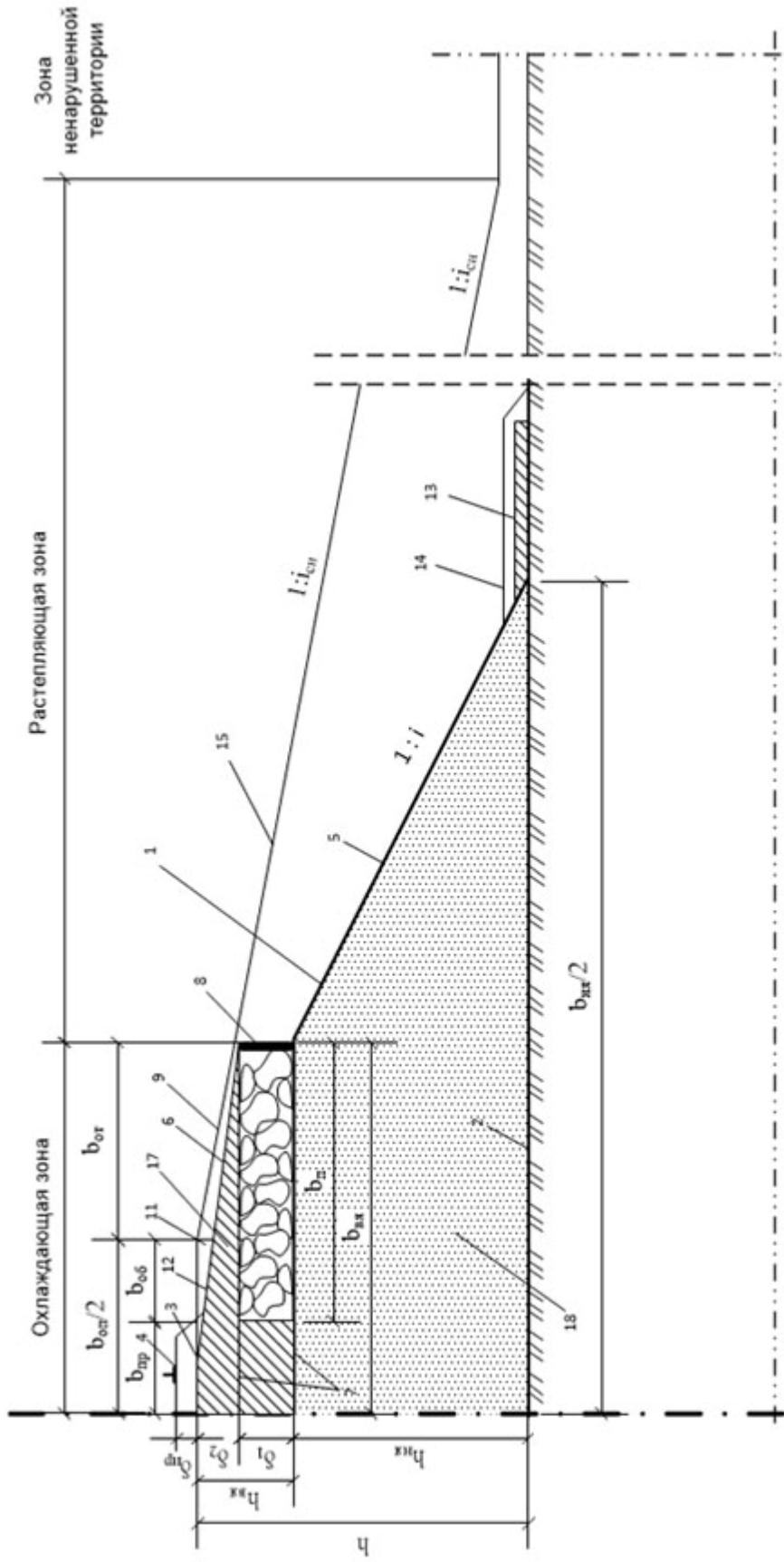


Рисунок Е.5 - Верхняя боковая охлаждающая площадка

Основная сущность данного технического решения сводится к тому, чтобы снизить расход грунта по сравнению с аналогичным техническим решением с пологим откосом, на котором в зимний период снег не скапливается и тем самым формируется благоприятный температурный режим. Поэтому в данном техническом решении уклон откоса насыпи назначается как можно круче, практически это 1:2.

Призмы 6, расположены с двух сторон поперечного сечения насыпи на расстоянии друг от друга равным двойной ширине проезда $b_{\text{пр}}$ и стянуты стяжками 7. В призме 6 с внешней стороны расположен вертикальный слой теплоизоляции 8. Бровка насыпи и внешнее ребро призмы соединены плоскостью 9, которая ограничивает тело 1 насыпи над призмой. Тело призмы 6 защищено от засорения слоем геотекстиля 10. Правый край геотекстиля может быть заведён за внешней край габиона и свешивается на 10 см.

Между верхней поверхностью призмы 6 и ломаной поверхностью, образованной поверхностью 9 и частью $b_{\text{об}}$ основной площадки 3 сформирован защитный слой грунта 11 толщиной δ_2 в зоне обочины и постепенно сходящий на нет к внешнему ребру призмы. При этом призма и защитный грунтовый слой представляют единый неразделимый комплекс, в котором призма охлаждает, а защитный слой грунта обеспечивает (усиливает) это охлаждение. Роль защитного слоя двойная. Во-первых, он распределяет сосредоточенные нагрузки от пешеходов и других воздействий, сохраняя пористость призмы. Во-вторых, он отводит дождевую воду к внешним границам призмы (поверхность 9 обеспечивает уклон). При этом избегается вредная инфильтрация воды в грунт, поскольку она вносит тепло, и, наоборот, усиливаются испарительные процессы на внешней поверхности призмы и откоса, приводящие к теплосъёму. При этом гидроизоляция 12 усиливает этот эффект.

$$\delta_1 = 0,8-1,2 \text{ м}, \text{ а } \delta_2 = 0,2-0,4 \text{ м}.$$

В зоне подошвы откосы насыпи может быть расположен слой теплоизоляции 13 в берме 14. Позицией 15 показана граница снегоотложений с откосом $1:i_{\text{сн}}$.

Подробнее см. в патенте № 2744541 [11].

E.7. Нижняя боковая охлаждающая площадка [8]

В предлагаемом техническом решении (рис. Е.6) рассмотрено поперечное сечение насыпи, расположенной в регионе с большим снегопереносом, в котором вместо уложенных откосов отсыпана площадка из местных неуплотнённых грунтов в пределах малых снежных отложений. Дорожная насыпь содержит тело насыпи 1, грунтовую призму 2, слой теплоизоляции 3 с защитным слоем грунта 4.

Тело насыпи 1 расположено на естественной поверхности грунтов основания 5, выполнено в поперечном сечении в виде трапеции с верхним малым основанием $b_{оп}$ для проезда транспорта, ограниченным по бокам бровки и нижним основанием, равным сумме верхнего основания и двух проекций шириной «d» откосных частей, в которых угол наклона боковых поверхностей равен « α_h », при этом в зимний период на откосных частях насыпи и смежных с ними участках формируется снежная призма 6.

Подробнее см. в патенте № 2705656 [9].

Верхняя поверхность боковой охлаждающей площадки не заносится снегом, поэтому является охлаждающей зоной, расположенной в зоне теплового влияния с грунтами основания насыпи. Преимущества нижней боковой охлаждающей площадки перед верхней боковой охлаждающей площадкой – это простота и малая стоимость, поскольку может отсыпаться из местных неуплотнённых грунтов. Устройство каменного теплового диода также проще.

Недостаток нижней боковой охлаждающей площадки по сравнению с верхней – это то, что при пологих откосах снежных отложений регионов I и II площадка при определённых высотах насыпи может оказаться за пределами рационального расстояния от подошвы откоса насыпи, при котором тепловое влияние площадки становится незначительным.

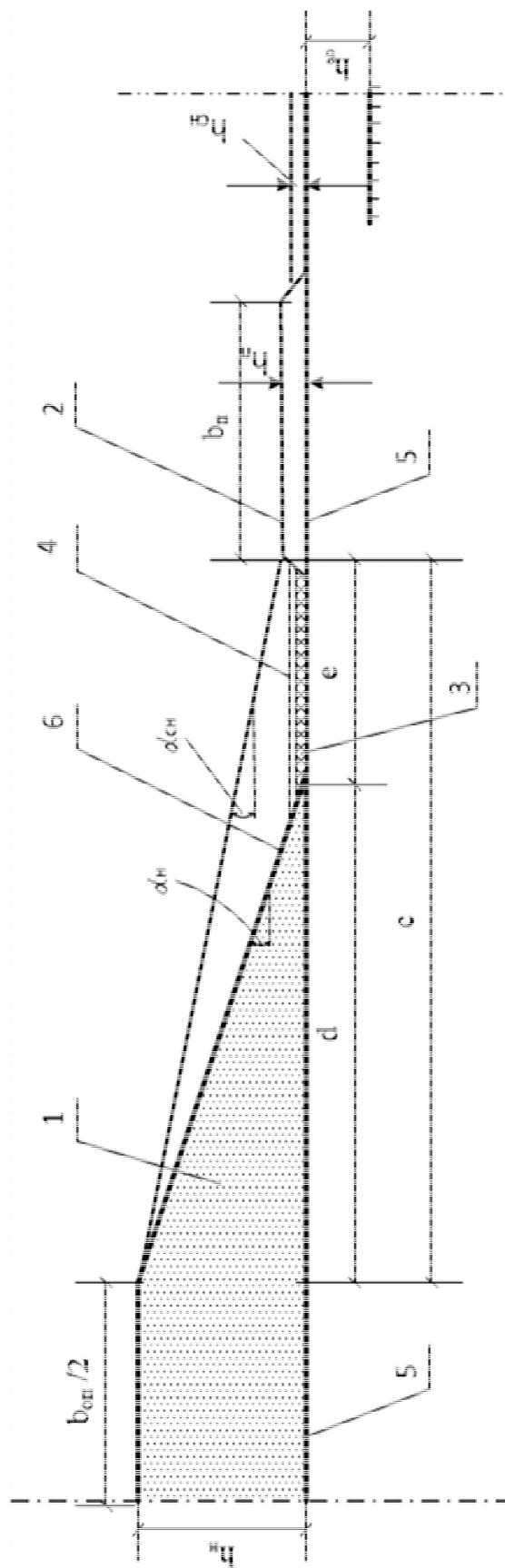


Рисунок Е.6 - Нижняя боковая охлаждающая площадка

Приложение Ж. Примеры эффективной и неэффективной схем укладки теплоизоляции [к главе 12]

Примеры данного приложения приведены в дополнение к главе 12 «Эффективные и неэффективные схемы укладки теплоизоляции». Приведено на рис. Ж.1, Ж.2, Ж.3 шесть вариантов укладки теплоизоляции для одного и того же поперечного сечения IV-5 (насыпь высотой 6,0 м для региона IV, Туры).

В первом варианте (рис. Ж.1,а) теплоизоляция не уложена нигде. Охлаждение происходит через основную площадку. Откосы покрыты снегом и являются растепляющей зоной. В результате в установившемся режиме имеет место глубокое протаивание.

Второй вариант (рис. Ж.1,б) является наиболее эффективным. Теплоизоляция уложена на основной площадке, откосах и берме. Температура грунта в основании достигает минус 2,5°C.

Третий вариант (рис. Ж.2) предполагает укладку теплоизоляции только на подошве насыпи. Этот вариант широко рекомендуется в технической литературе. Он эффекта не даёт вообще.

Четвёртый вариант (рис. Ж.3,а) повторяет второй, но на берме теплоизоляция не уложена. Температурное поле резко ухудшилось: появился талик, а температура грунта повысилась с температуры минус 2,5°C до температуры минус 1,0°C.

Пятый вариант (рис. Ж.3,б) повторяет третий вариант, но добавлена теплоизоляция на берме. Это позволило практически ликвидировать талик, но температуры грунта остались практически нулевыми.

Шестой вариант (рис. Ж.3,в) повторяет второй вариант, но теплоизоляция на откосе уложена не на поверхности, а горизонтально, слоями. По сравнению со вторым вариантом температурное поле ухудшилось резко.

Основные выводы по схеме укладки теплоизоляции сформулированы в главе 12.

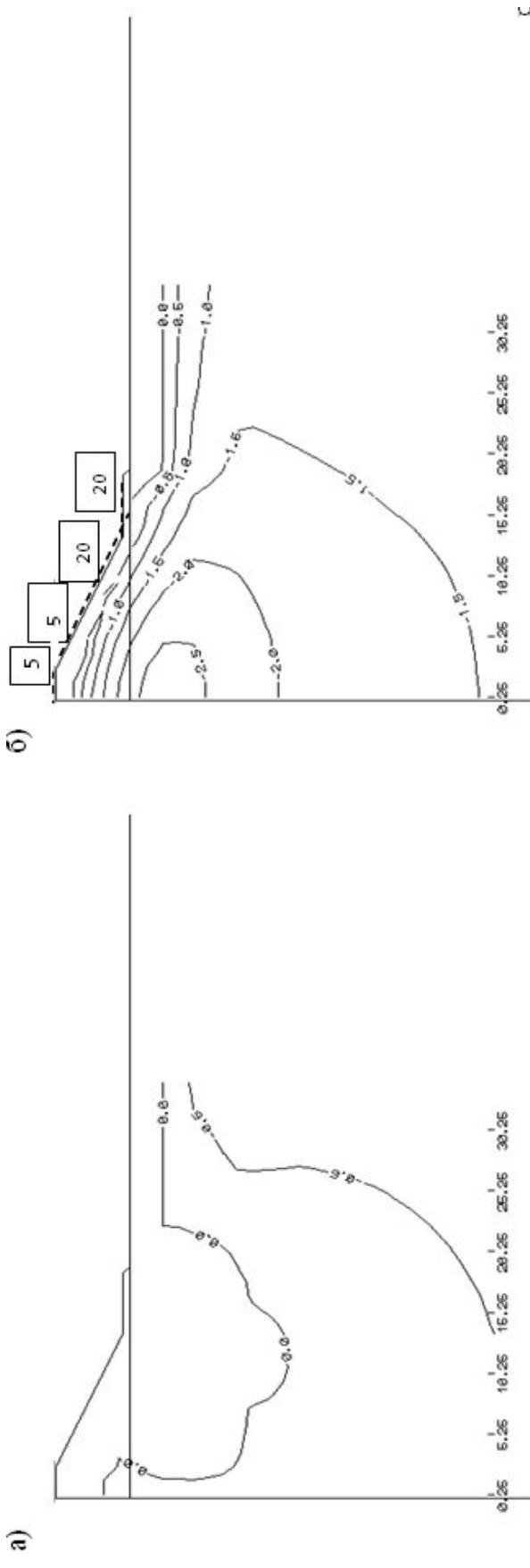


Рисунок Ж.1 - Температурное поле в грунтах тела и основания насыпи на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме. Схема IV-5. Тура: а – без теплоизоляции; б – с теплоизоляцией (5.0 см на основной площадке и верхней 1/3 откоса, 20.0 см – на нижних 2/3 откоса и в берме)

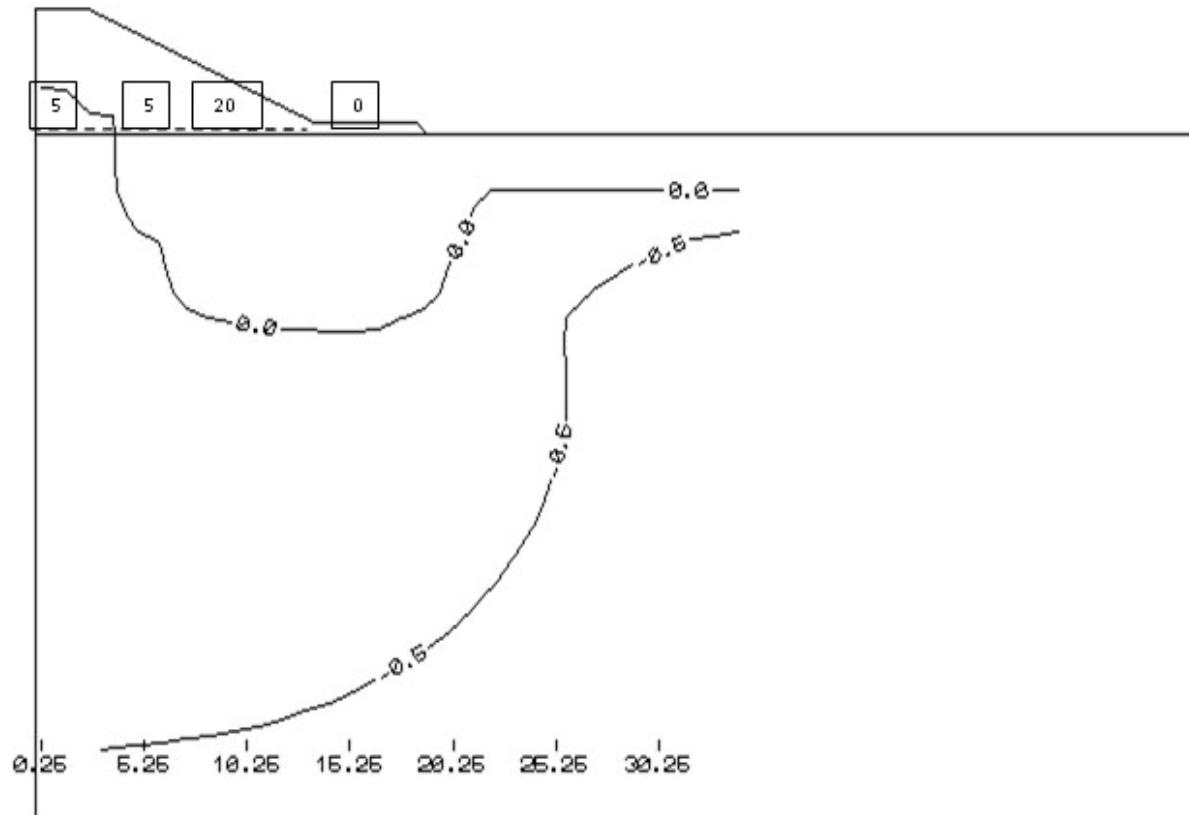


Рисунок Ж.2 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме. Схема IV-5. Тура. Теплоизоляция уложена под подошвой насыпи: толщиной 5.0 см по ширине основной площадки и верхней 1/3 откоса, толщиной 20.0 см – под нижними 2/3 откоса; в берме теплоизоляция отсутствует

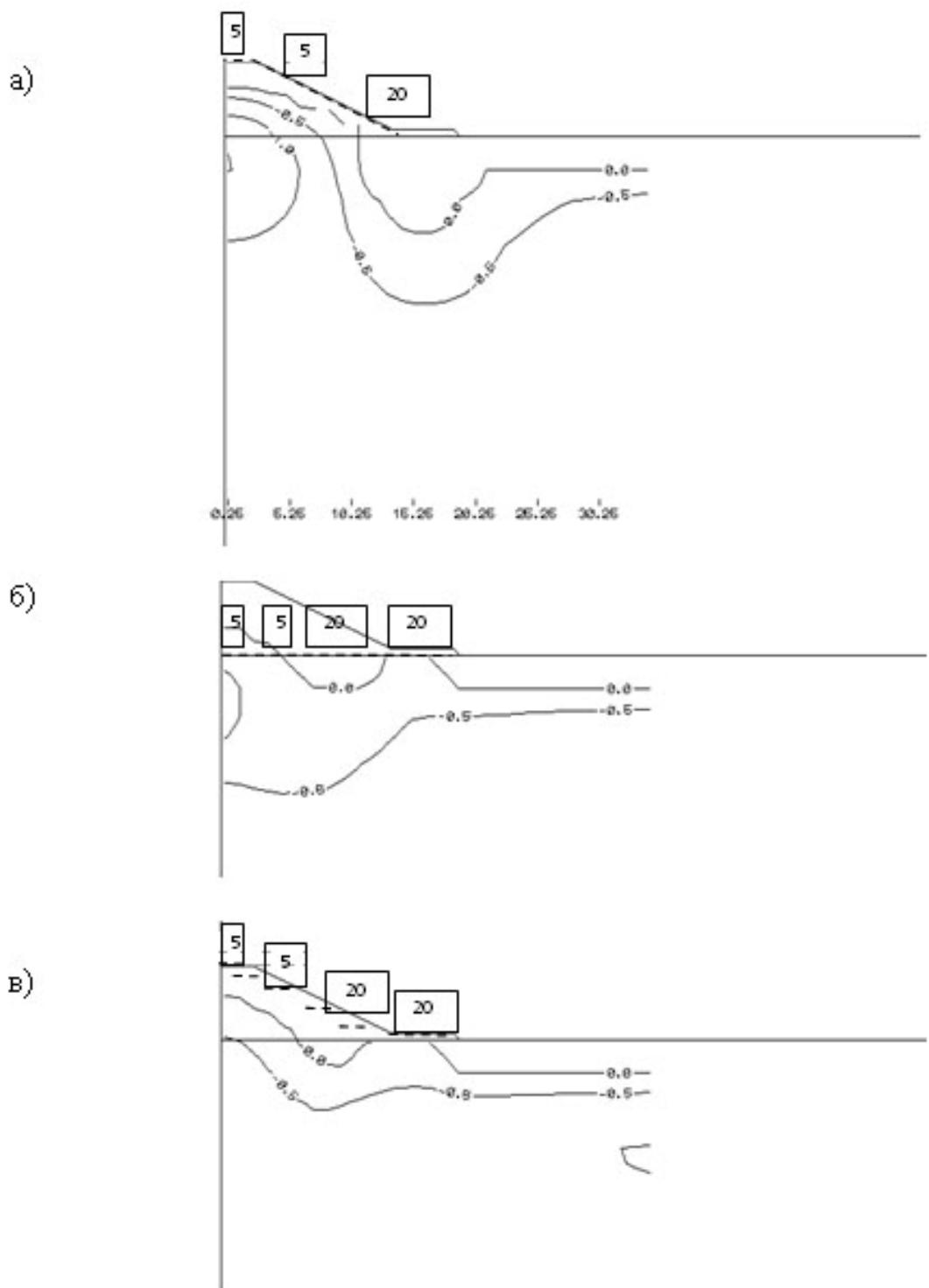


Рисунок Ж.3 – Сопоставление для Туры, температурных полей на момент окончания тёплого периода года в установившемся режиме. Схема IV-5. Насыпь высотой 6.0 м. Теплоизоляция: а) 5.0 см на основной площадке и верхней 1/3 откоса, 20.0 см – на нижних 2/3 откоса; в берме теплоизоляция отсутствует, б) уложена под подошвой насыпи: толщиной 5.0 см по ширине основной площадки и верхней 1/3 откоса, толщиной 20.0 см – под нижними 2/3 откоса и в берме, в) 5.0 см на основной площадке и верхней 1/3 откоса (уложена горизонтально), 20.0 см – на нижних 2/3 откоса (уложена горизонтально) и в берме

ЧАСТЬ II

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУКЦИИ НАСЫПИ И МЕРОПРИЯТИЯМ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ

18. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ, ЗАЛОЖЕННЫЕ В РЕКОМЕНДАЦИЯХ

Назначение конфигурации поперечного сечения насыпи и определение мероприятия для стабилизации температурного режима грунтов рекомендуется производить в два этапа.

На первом этапе на основании материалов части II данного рекомендательного документа назначаются поперечное сечение насыпи и приближённое значение параметров теплоизоляции и других мероприятий. На основании этих данных производят проверку несущей способности насыпи.

На втором этапе при необходимости могут быть проведены на основании материалов части I данного рекомендательного документа дополнительные корректировки поперечного сечения насыпи, а также характеристик теплоизоляции и других мероприятий.

Существует целый ряд мероприятий для стабилизации температурного режима грунтов. Их применение позволяет обеспечить мощный охлаждающий эффект. Однако теплоизоляция является практически единственным мероприятием, где сочетаются охлаждающий и амортизационный эффекты (см. главу 4). Это позволяет обеспечить мёрзлое состояние грунтов, расположенных близко к поверхности, где как раз проявляются деформации пучения, сдвиги в области откоса насыпи.

В связи с изложенным теплоизоляция является важным, более того, практически неизбежным мероприятием в системе мероприятий, применяемых для стабилизации температурного режима грунтов.

Слабой стороной теплоизоляции является то, что процесс охлаждения грунтов происходит медленно (см. главу 4). Однако этот недостаток может быть исправлен двумя путями:

- 1) обеспечением начального температурного состояния, близкого к расчётному за счёт зимней отсыпки и других методов;
- 2) применением мероприятий по охлаждению интенсивного типа в системе с теплоизоляцией, которая относится к мероприятиям инерционного типа (гл. I).

Следует также отметить и то важное свойство теплоизоляции в зоне снежных заносов, что она относится к мероприятиям сезонного (летнего) действия, поэтому она эффективна при высоких среднегодовых температурах воздуха, в т.ч. при глобальном потеплении (в отличие от теплоизоляции, расположенной в зоне оголённой от снега поверхности, которая относится к мероприятиям всесезонного действия). При высоких среднегодовых температурах воздуха можно эффективно использовать дополнительно глубинные системы (термоопоры и терmostабилизаторы), которые работают зимой, а в летний период выключаются из работы.

В рекомендациях рассматривается четыре группы мероприятий.

Группа 1 – теплоизоляция. В используемом в данных Рекомендациях смысле термин «теплоизоляция» рассматривается как конструктивный элемент с общим термическим сопротивлением, выраженным в сантиметрах пенополистирола XPS ТЕХНОНИКОЛЬ (п. 4.4, глава 4) с коэффициентом теплопроводности 0,031 ккал/(м·час·град) (глава 3, п. 3.4). Это конструктивный элемент, как правило, составной, состоит из двух или более составных элементов. В качестве составных элементов может быть использованы: непосредственно пенополистирол, грунт (защитный слой), торф, мохорастительный покров, травяной покров и др. Методика расчёта термического сопротивления приведена в главе 3 (п. 3.3.3). На основании этого может быть предложена формула:

$$T = \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right) \cdot \lambda_0, \text{ м},$$

где

Т - общая толщина теплоизоляции, приведённая к пенополистиролу XPS ТЕХНОНИКОЛЬ, м,

$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ - толщина различной теплоизоляции, м,

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ - коэффициенты теплопроводности слоёв различной теплоизоляции, (ккал/(м·час·град)),

λ_0 - коэффициент теплопроводности пенополистирола XPS ТЕХНОНИКОЛЬ, 0,031 ккал/(м·час·град);

Группа 2 - верхняя и нижняя боковые охлаждающие площадки с наличием или отсутствием тепловых диодов. Характеристика дана в Приложении Е Части I данных Рекомендаций;

Группа 3 - термоопоры и термостабилизаторы. Характеристика дана в Приложении Е Части I данных Рекомендаций;

Группа 4 - ступенчатые поверхности. Характеристика дана в Приложении Е Части I данных Рекомендаций.

Рекомендации сформулированы для следующих среднегодовых температур воздуха: $-9,0^{\circ}\text{C}$, $-6,0^{\circ}\text{C}$, $-4,0^{\circ}\text{C}$, $-2,0^{\circ}\text{C}$, $0,0^{\circ}\text{C}$, $+1,0^{\circ}\text{C}$. Это температуры воздуха, которые сформируются через 50 лет после постройки с учётом солнечной радиации и глобального потепления ($0,05^{\circ}\text{C}$ в год). Среднемесячные температуры воздуха для каждого региона приведены в таблице 18.1. При этом начальные температуры воздуха приняты примерно на 3°C ниже.

Предполагалось, что на момент строительства мерзлота сливающегося типа. При мерзлоте несливающегося типа рекомендуется использовать материалы главы 11 части 1 данных Рекомендаций.

В рекомендациях сформулированы *принципиальные схемы* поперечных сечений насыпи и принципиальные схемы мероприятий для стабилизации температурного режима грунтов. *Конструктивное исполнение* вышеуказанного должно быть осуществлено при проектировании с учётом обеспечения устойчивости, прочности и других требований.

Таблица 18.1 - Расчётные температуры воздуха для регионов I-V

НН реги- она	Среднемесячные температуры											Средне- годов. темп. « t_p »	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
I	-24,9	-25,5	-20,9	-14,3	-6,7	+3,0	+7,8	+8,2	+5,6	-7,3	-15,6	-17,8	
II	-28,1	-27,3	-21,6	-13,5	-4,0	+7,5	+15,1	+12,2	+5,3	-8,3	-20,5	-24,7	-9,0
III	-32,4	-29,6	-19,7	-7,4	+1,6	+11,5	+15,5	+12,0	+4,4	-9,9	-24,9	-29,1	
IV	-38,7	-34,4	-21,0	-3,9	+5,9	+15,5	+19,2	+15,0	+7,3	-9,9	-27,4	-35,5	
V	-42,2	-37,7	-23,5	-1,5	+10,7	+19,3	+22,4	+18,3	+9,1	-10,9	-31,0	-41,0	
I	-20,5	-20,2	-16,3	-8,9	-1,3	+6,2	+10,3	+9,1	+5,0	-4,8	-13,0	-17,1	
II	-20,5	-20,2	-16,3	-8,9	-1,3	+6,2	+10,3	+9,1	+5,0	-4,8	-13,0	-17,1	
III	-24,6	-22,9	-15,2	-5,8	+1,5	+10,1	+14,1	+11,1	+5,3	-6,1	-17,5	-21,9	-6,0
IV	-34,2	-29,9	-16,5	-2,5	+7,3	+17,1	+20,8	+16,6	+8,7	-5,5	-22,9	-30,9	
V	-37,7	-33,2	-19,0	-0,1	+12,1	+20,9	+24,0	+19,9	+10,5	-6,5	-26,5	-36,4	
I	-17,5	-17,2	-13,3	-7,9	-0,3	+7,2	+11,3	+10,1	+6,0	-1,8	-10,0	-14,1	
II	-17,5	-17,2	-13,3	-7,9	-0,3	+7,2	+11,3	+10,1	+6,0	-1,8	-10,0	-14,1	
III	-23,2	-22,2	-14,2	-5,7	+2,1	+12,1	+17,5	+14,1	+8,3	-2,9	-14,0	-19,4	-4,0
IV	-23,7	-20,9	-12,3	-0,1	+6,1	+12,3	+14,7	+12,0	+7,0	-5,3	-16,4	-21,6	
V	-29,8	-25,9	-14,8	-0,7	+9,5	+18,8	+21,9	+18,1	+9,6	-5,6	-21,0	-28,1	

Продолжение Таблицы 18.1

NN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	« t_p »
I	-15,0	-14,6	-10,4	-4,0	+2,3	+8,7	+12,5	+11,1	+7,0	-1,3	-8,2	-12,0	
II	-15,0	-14,6	-10,4	-4,0	+2,3	+8,7	+12,5	+11,1	+7,0	-1,3	-8,2	-12,0	
III	-20,2	-18,9	-11,9	-2,1	+5,2	+13,1	+17,5	+14,4	+8,9	-3,4	-11,2	-16,4	
IV	-20,7	-17,9	-9,3	+0,9	+7,1	+13,3	+15,7	+13,0	+8,0	-2,3	-13,4	-18,6	
V	-26,9	-23,1	-12,8	+2,3	+11,3	+19,1	+21,8	-18,5	+10,7	-3,8	-16,3	-24,6	-2,0
I	-12,4	-11,9	-7,4	-0,2	+4,9	+10,1	+13,8	+12,0	+7,9	-0,7	-6,4	-9,8	
II	-12,4	-11,9	-7,4	-0,2	+4,9	+10,1	+13,8	+12,0	+7,9	-0,7	-6,4	-9,8	
III	-17,2	-15,6	-9,6	+1,6	+8,2	+14,1	+17,5	+14,7	+9,5	-2,0	-8,4	-13,3	
IV	-18,9	-16,6	-8,6	+2,5	+9,1	+15,6	+19,1	+15,4	+9,9	-2,0	-9,8	-15,3	0,0
V	-23,9	-20,3	-10,7	+5,3	+13,1	+19,4	+21,8	+18,9	+11,9	-2,1	-12,6	-21,0	
I	-10,9	-10,4	-5,9	+0,3	+5,4	+10,6	+14,3	+12,5	+8,4	+0,8	-4,9	-8,3	
II	-10,9	-10,4	-5,9	+0,3	+5,4	+10,6	+14,3	+12,5	+8,4	+0,8	-4,9	-8,3	
III	-15,7	-14,1	-8,1	+2,1	+8,7	+14,6	+18,0	+15,2	+10,0	-0,5	-6,9	-11,8	+1,0
IV	-17,4	-15,1	-7,1	+2,9	+9,5	+16,2	+19,7	+16,0	+10,5	-0,5	-8,3	-13,8	
V	-22,4	-18,8	-9,2	+5,8	+13,5	+19,9	+22,3	+19,5	+12,4	-0,6	-11,1	-19,5	

19. ПОЯСНЕНИЯ ПО СТРУКТУРЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ

Рекомендации сформулированы в виде характеристик отдельных вариантов, каждый из которых содержит предложение по схеме насыпи и комплекс мероприятий для конкретной высоты насыпи, расположенной в конкретном регионе. Для каждого из пяти регионов рассматриваются насыпи высотой 2, 4 и 6 м. Каждый вариант охарактеризован на одной отдельной странице, содержащей один рисунок (рис. 1) и одну таблицу (табл. 1).

В верхней части страницы помещена схема поперечного сечения насыпи (рис. 1), наиболее широко применяемая в практике для данной высоты и региона, с корректировкой на рекомендуемые предложения. На поперечном сечении нанесено расчётное температурное поле, которое может быть гарантировано при применении указанных ниже мероприятий. На рис. 1 указаны также формы снегоотложений в зимний период (которые не только оказывают тепловое влияние, но и влияют на выбор мероприятий по охлаждению и компоновку их в пределах насыпи). В пределах поперечного сечения намечено 4 - 5 зон, для каждой из которых в таблице 1 рекомендуются соответствующие мероприятия.

В таблице 1 для каждой группы мероприятий предусмотрены 5 или 4 строчки в соответствии с номерами зон. В соответствующих графах ставится обозначение мероприятий, в остальных – прочерки.

В графах таблицы 1 мероприятия отмечаются следующими обозначениями:

теплоизоляция (группа 1) отмечается мощностью в сантиметрах, приведённой к пенополистиролу XPS ТЕХНОНИКОЛЬ;

охлаждающие площадки (группа 2) отмечается буквами «В» (верхняя), «Н» (нижняя) и «Д» (тепловой диод);

термоопоры или термостабилизаторы (группа 3) обозначается глубиной погружения «L» и расстоянием между ними вдоль оси насыпи «B» (м). Устанавливаются, как правило, в зоне бровки основной площадки (т.е. 2 шт. в поперечном сечении);

ступенчатая поверхность (группа 4) отмечается высотой ступени (м) и толщиной теплоизоляции (см) на горизонтальной части ступени.

Если в какой-то зоне недопустимо устройство мероприятия, то графа заглушается крестообразно (например, при высотах насыпи 4 и 6 м в регионах I, II,

III в зонах 3 и 4 большие снежные заносы, и теплообменники термостабилизаторов заносятся снегом, поэтому термостабилизаторы не работают).

Красными кружочками отмечена теплоизоляция, предназначенная для снижения глубины сезонного протаивания и не влияющая на температуру грунтов оснований.

Значения основных параметров мероприятий, как уже было отмечено, гарантируют расчётную температуру грунта минус 1,0°C. Если требуется для обеспечения стабильности насыпи более низкая температура на величину « Δt », то при полученной расчётной температуре воздуха « t » мероприятия определять для температуры « t » + « Δt ».

Например, если для конкретного региона температура наружного воздуха с учётом солнечной радиации и глобального потепления через 50 лет получается минус 2,0°C, то для этой температуры мы получим наличие мероприятий, которые обеспечат температуру грунтов минус 1,0°C в соответствии с рис. 1. Если по условиям обеспечения несущей способности этого недостаточно, и требуется температура грунта минус 3,0°C, то мероприятия мы определяем по колонке таблицы 1 не минус 2°C, а 0,0°C.

Значение основных параметров мероприятий, приведённых в таблице 1, получены на насыпях с шириной основной площадки порядка 5,0 м. При ширине основной площадки порядка 10,0 м данные таблицы 1 можно использовать, но откорректировав расчётную температуру воздуха: полученную расчётную температуру понизить на 1,0°C, кроме расчётных температур 0,0°C и +1,0°C (для этих значений корректировки не делать). Например, если для конкретного региона температура наружного воздуха с учётом солнечной радиации и глобального потепления через 50 лет получится -1,0°C, то для насыпи с основной площадкой 10 м мероприятия следует подбирать по колонке таблицы 1 не минус 1,0°C, а минус 2,0°C.

В таблицах вариантов, представленных в главе 20, рекомендуемые мероприятия действительны только к схеме поперечного сечения, представленного в данном варианте.

С учётом интерполяции и экстраполяции варианты, представленные в главе 20, позволяют охватить диапазон высот насыпей с 1,5 до 8,0 м.

20. ВАРИАНТЫ РЕКОМЕНДУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАСЫПИ И МЕРОПРИЯТИЙ ПО СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ

В данном разделе представлено 17 вариантов:

- по региону I три варианта (I-2,а, I-4,а, I-6,а);
- по региону II три варианта (II-2, а, II-4,а, II-6,а);
- по региону III пять вариантов ((III-2,а, III-4,а, III-4,б, III-6,а, III-6,б));
- по региону IV три варианта (IV-2,а, IV-4,а, IV-6,а);
- по региону V три варианта (V-2,а, V-4,а, V-6,а).

Обозначения. Индекс варианта формируют три группы символов:

- римских цифр I – V, которые обозначают номер региона;
- арабских цифр 2, 4, 6, которые обозначают высоту насыпи (м);
- букв русского алфавита а, б, ..., которые обозначают номер варианта поперечного сечения насыпи с мероприятиями по охлаждению в пределах значимости первых двух символов (номера региона и высоты насыпи).

Вариант I – 2, а

Регион I

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 2 м

Рис. 1 . Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

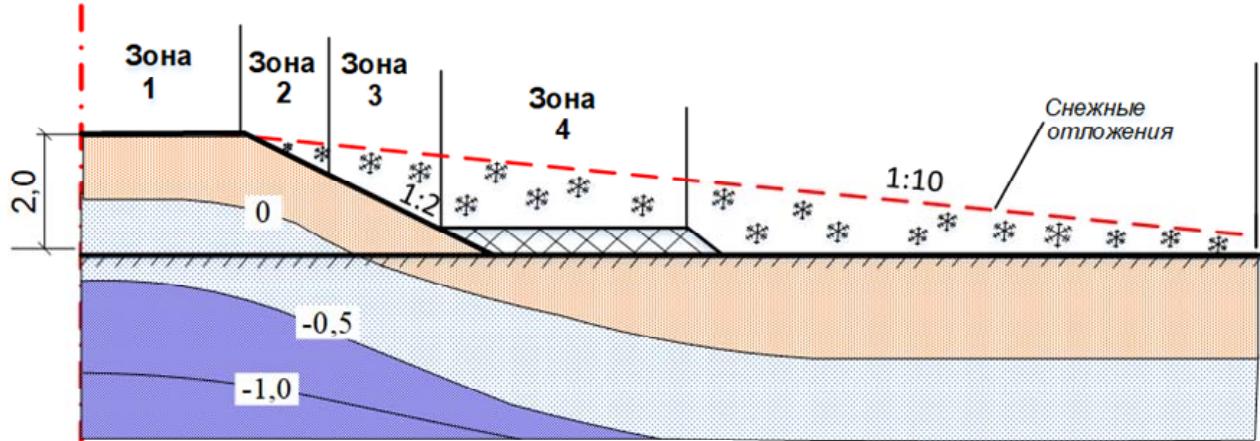


Таблица 1 . Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха "t_p"

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха "t _p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция T, см	1	5	5	5	5	5	5
	2	5	5	5	5	5	5
	3	-	3	5	8	10	10
	4	-	3	5	8	10	10
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	B	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	15,15	15,10

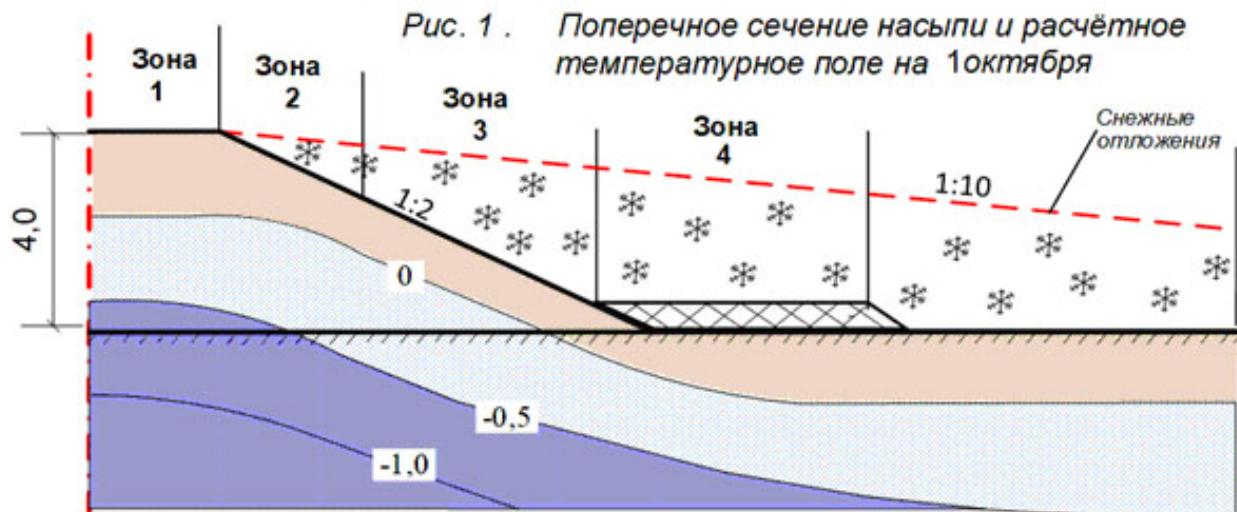
Регион I**Мероприятия(табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов(рис. 1). Насыпь 4 м**

Таблица 1 . Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха "t_p"

Наименование мероприятия	№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха "t _p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне							
Теплоизоляция T, см	1	-	-	5	5	5	5
	2	-	5	5	5	5	5
	3	5	5	5	5	8	10
	4	5	5	5	5	8	10
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	В + Д	-	-	-
	3	X	X	X	X	X	X
	4	X	X	X	X	X	X
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	20,20	20,15	20,10
	2	-	-	-	-	-	-
	3	X	X	X	X	X	X
	4	X	X	X	X	X	X

Регион I

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 6 м

Рис. 1. Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

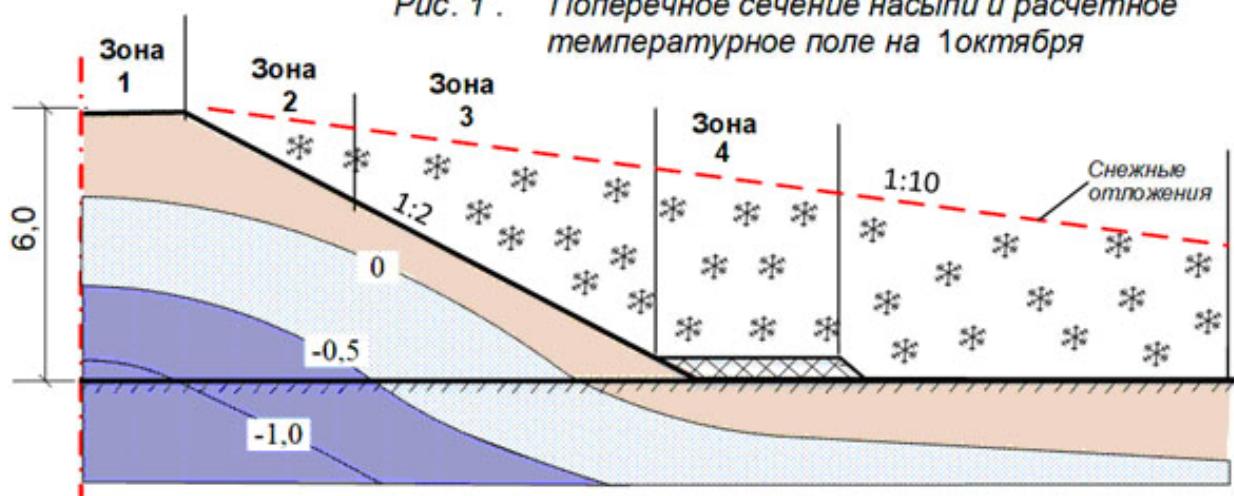


Таблица 1 . Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха "t₀"

Наименование мероприятия	№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха "t _p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция T, см	1	-	-	5	5	5	5
	2	-	5	5	5	5	5
	3	5	5	5	5	10	15
	4	5	5	5	5	10	15
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	В	-	-	-
	3						
	4						
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	20,20	20,15	20,10
	2	-	-	-	-	-	-
	3						
	4						

Вариант II-2, а

Регион II

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 2 м

Рис. 1. Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

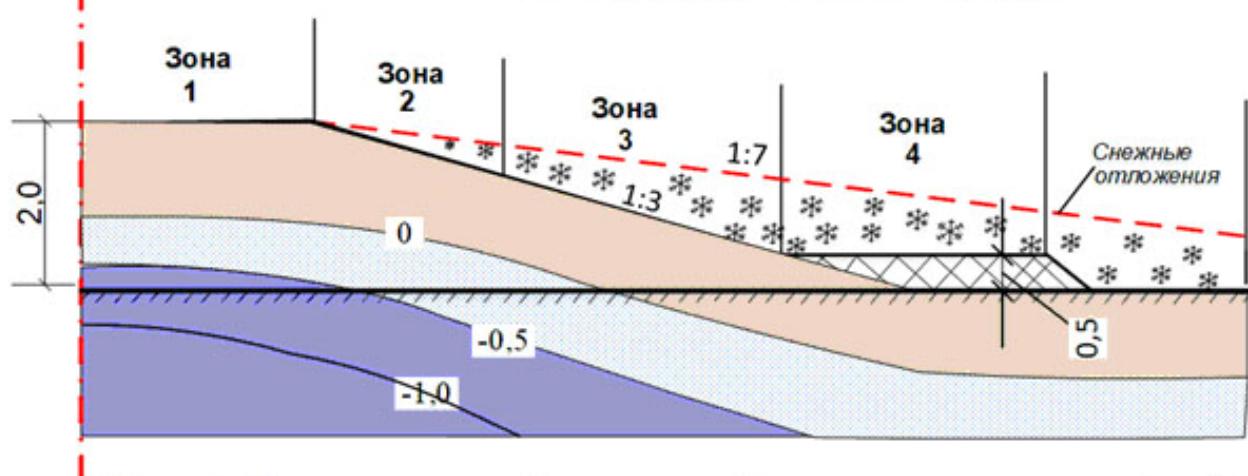
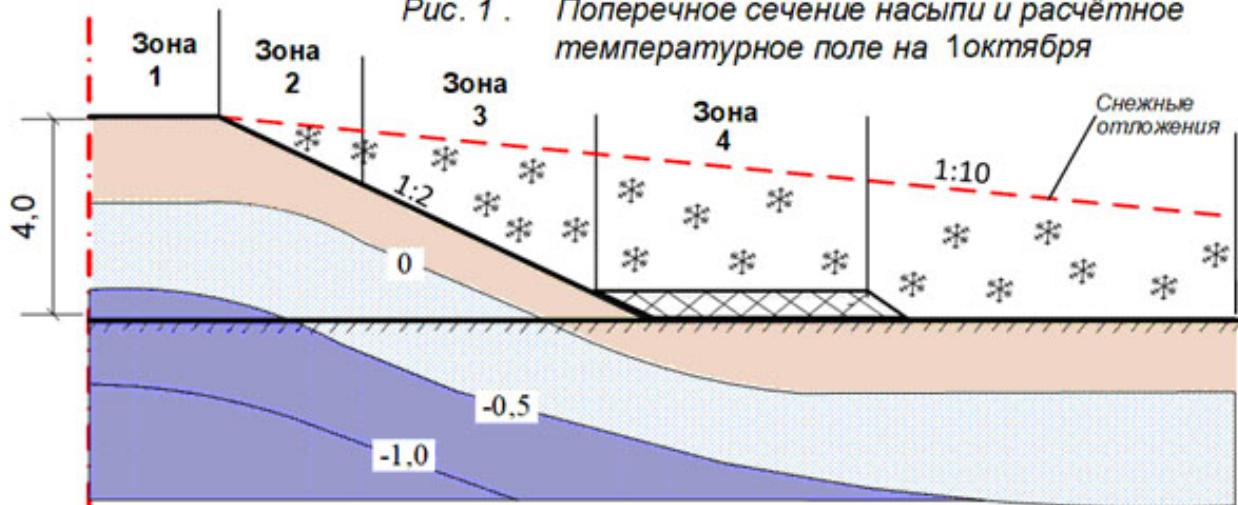


Таблица 1 .Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха "t_p"

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха "t _p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция T, см	1	5	5	5	5	5	5
	2	5	5	5	5	5	5
	3	-	3	5	8	10	10
	4	-	3	5	8	10	10
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	B	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	15,15	15,10

Регион II**Мероприятия(табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов(рис.1). Насыпь 4 м**

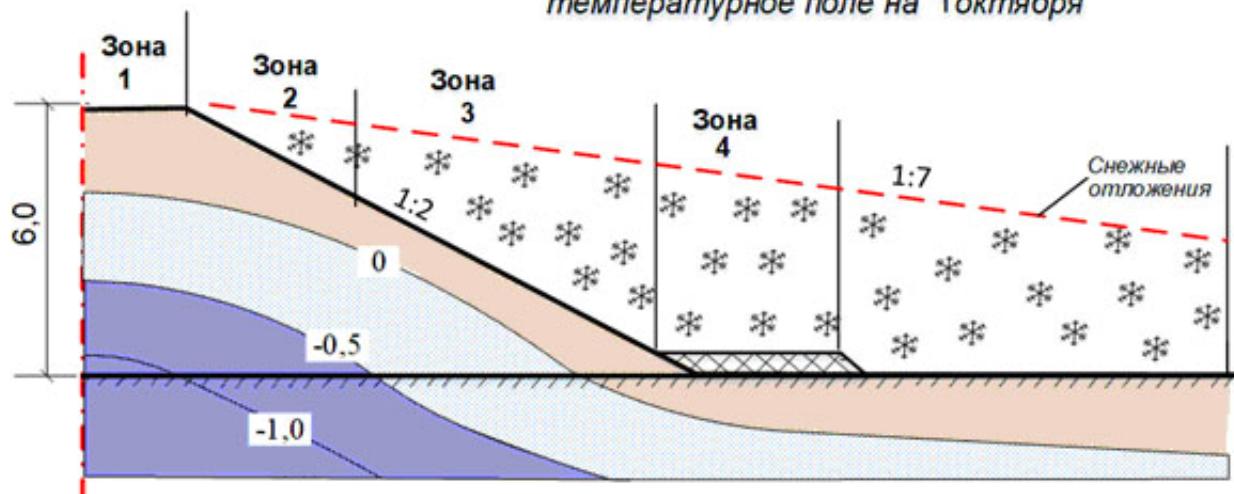
Рис. 1. Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

Таблица 1 . Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха "t_p"

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчёчная среднегодовая температура воздуха "t _p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне							
Теплоизоляция T, см	1	-	5	5	5	5	5
	2	-	5	5	5	5	5
	3	5	5	8	10	10	15
	4	5	5	8	10	10	15
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	B +D	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	20,15	20,10
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-

Регион II**Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 6 м**

Рис. 1. Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

Таблица 1 . Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха "t_p"

Наименование мероприятия	№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха "t _p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне							
Теплоизоляция T, см	1	-	5	5	5	5	5
	2	-	5	5	5	5	5
	3	5	8	10	10	15	20
	4	5	8	10	10	15	20
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	B	-	-	-
	3	X	X	X	X	X	X
	4	X	X	X	X	X	X
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	20,20	20,15	20,10
	2	-	-	-	-	-	-
	3	X	X	X	X	X	X
	4	X	X	X	X	X	X

Регион III
Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 2 м

Рис. 1. Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

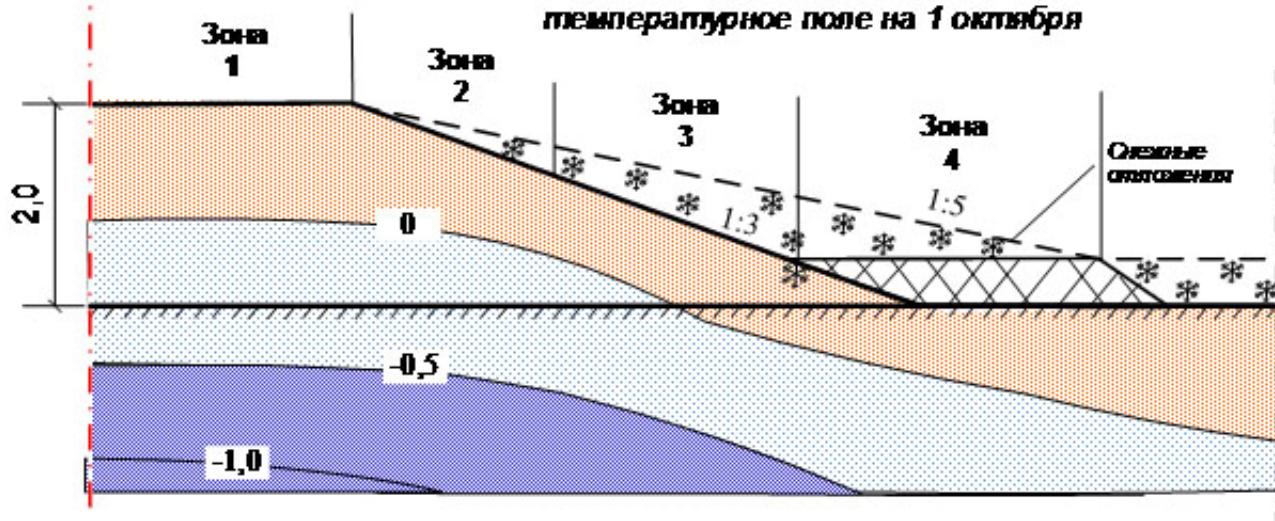


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха t_p

Наименование мероприятия	№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха t_p , °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция T, см	1	5	5	5	5	5	5
	2	5	5	5	5	5	5
	3	-	3	5	8	10	10
	4	-	3	5	8	10	10
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	В	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	15,15	15,10

Регион III
Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 4 м

Рис. 1. Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

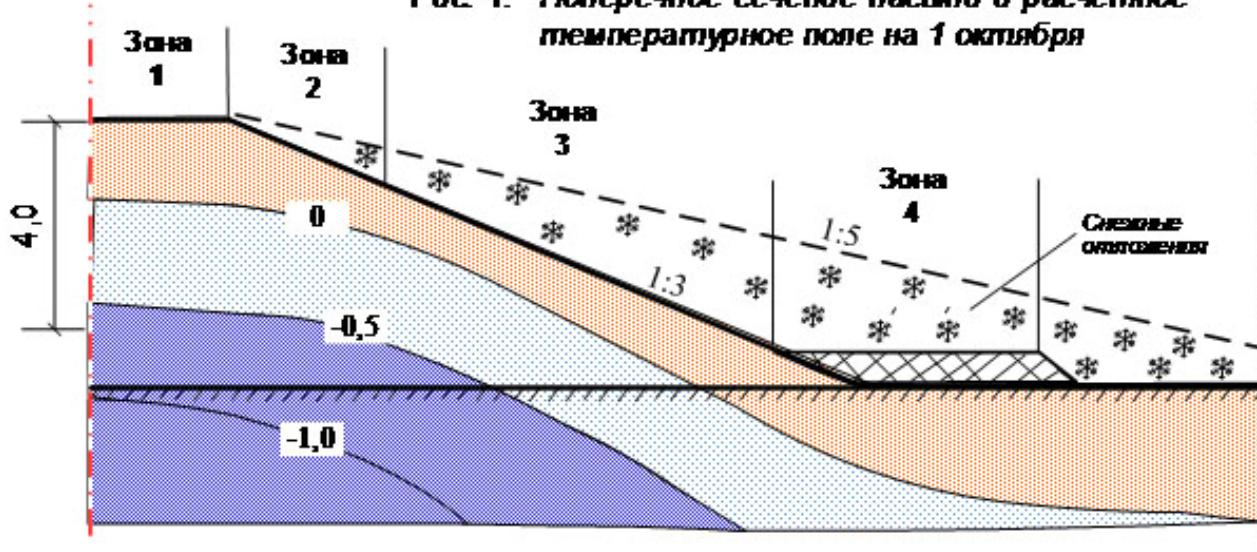


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха t_p

Наименование мероприятия	№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха t_p , °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне							
Теплоизоляция T, см	1	5	5	5	5	5	5
	2	5	5	5	5	5	5
	3	5	8	10	15	15	18
	4	5	8	10	15	15	18
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	20,15	20,10
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-

Регион III
Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 4 м

Рис. 1. Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

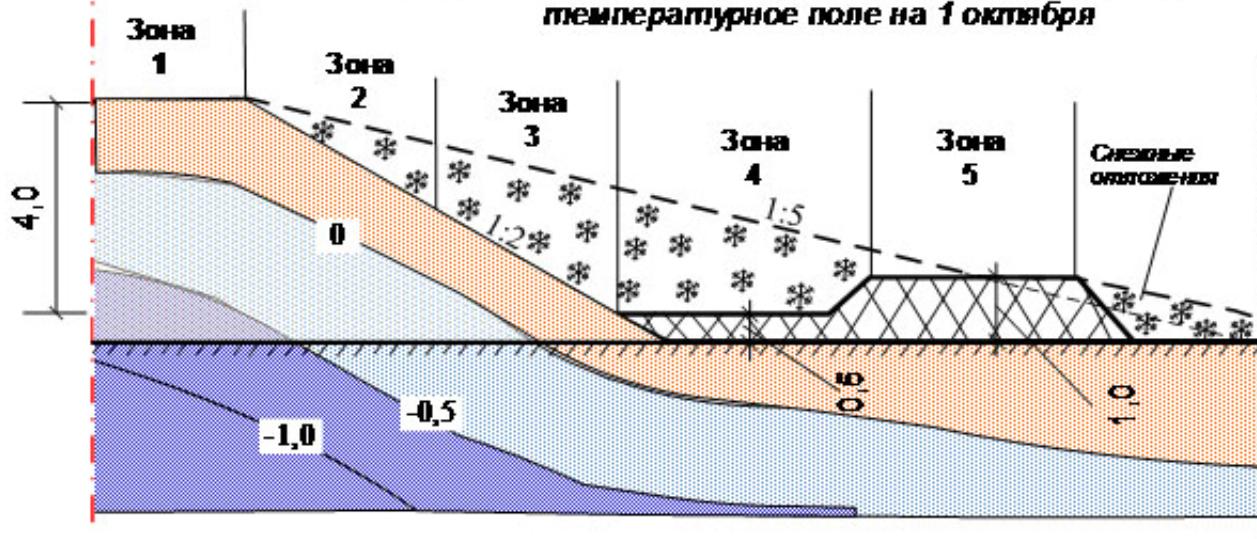


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха t_p

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчёчная среднегодовая температура воздуха t_p , °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне							
Теплоизоляция T, см	1	5	5	5	5	5	5
	2	5	5	5	5	5	5
	3	5	10	10	15	15	5
	4	5	10	10	15	15	5
	5	-	-	-	-	-	5
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	X	X	X	X	X	X
	5	-	-	N	N	N+D	N
Термоизол. (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	-	15,10
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	X	X	X	X	X	X
	5	-	-	-	-	-	-

Регион III
Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 6 м

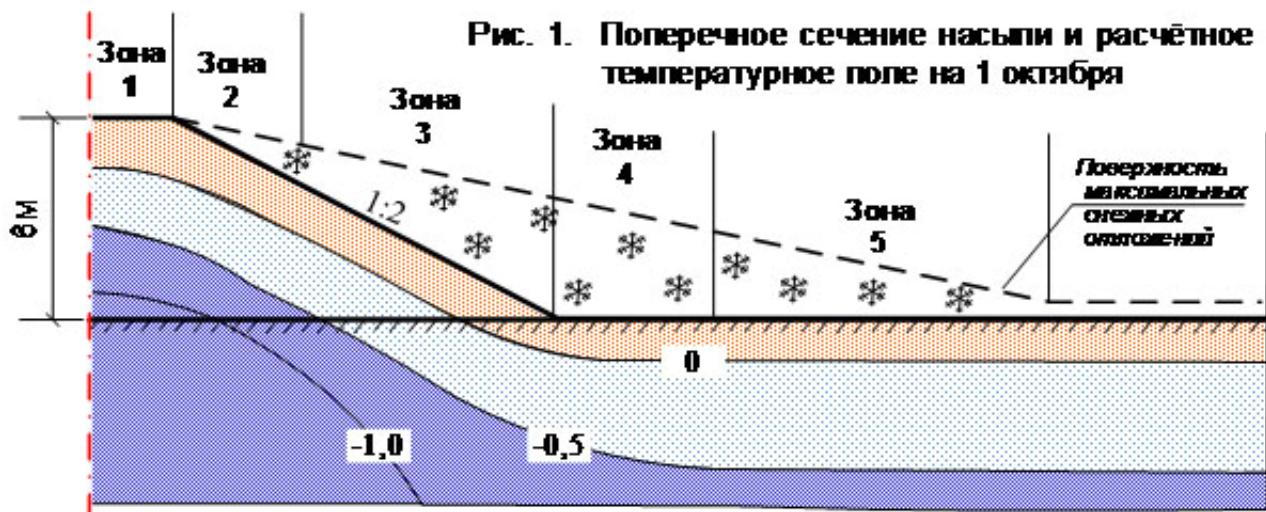


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха "t_p"

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха "t _p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция T, см	1	5	5	5	5	5	5
	2	5	5	5	5	5	5
	3	10	15	20	20	20	20
	4	10	15	20	20	20	20
	5	-	-	-	-	-	-
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	XX					
	4	XX					
	5	-	-	-	-	-	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	20,20	20,15	20,10
	2	-	-	-	-	-	-
	3	XX					
	4	XX					
	5	-	-	-	-	-	-

Регион III
Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 6 м

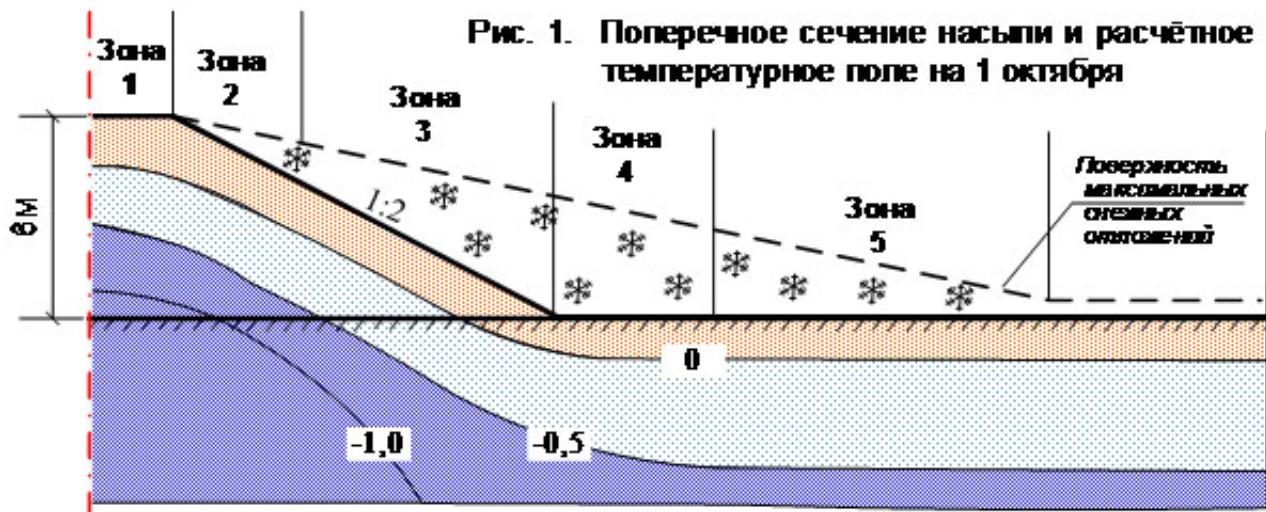
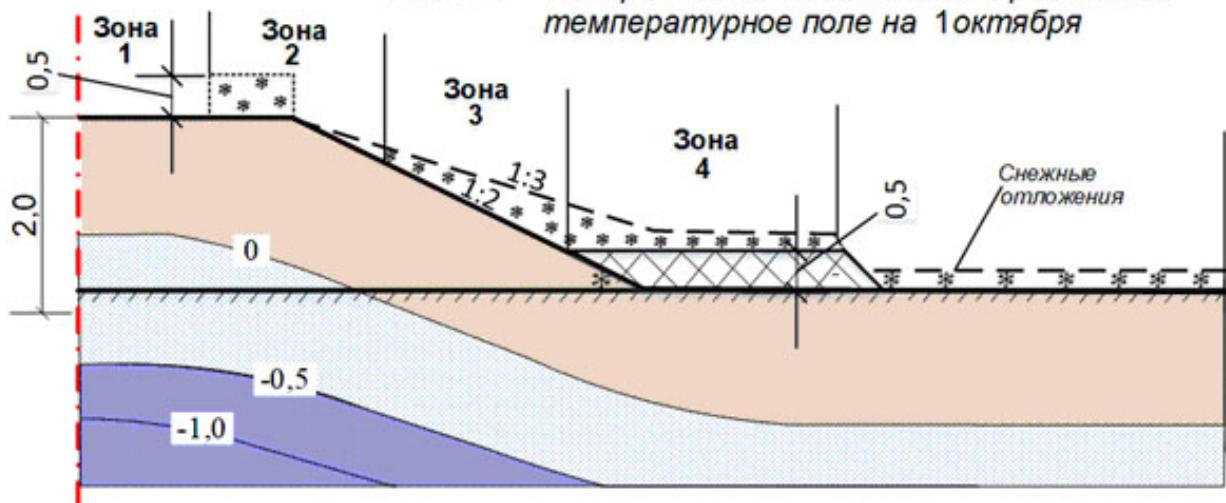


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха t_p

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха t_p , °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	5	5	5	5	5	5
	2	5	5	-	-	-	5
	3	10	15	10	10	10	20
	4	10	15	10	10	10	20
	5	-	-	-	-	-	-
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	В	В+Д	В+Д	-
	3	XX					
	4	XX					
	5	-	-	-	Н	Н+Д	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	-	20,10
	2	-	-	-	-	-	-
	3	XX					
	4	XX					
	5	-	-	-	-	-	-

Регион IV**Мероприятия(табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов(рис. 1). Насыпь 2 м**

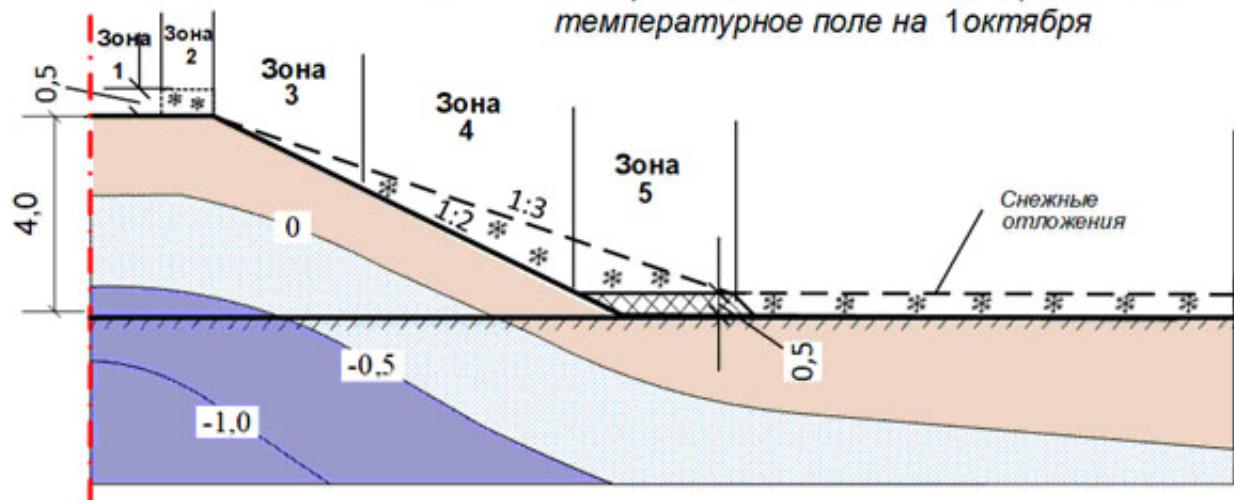
Рис. 1 . Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

Таблица 1 . Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха "t_p"

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха "t _p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне							
Теплоизоляция T, см	1	5	5	5	5	5	5
	2	5	5	5	5	5	5
	3	5	5	10	5	5	5
	4	5	5	10	5	5	5
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	15,20	15,15	15,10
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-

Регион IV**Мероприятия(табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов(рис. 1). Насыпь 4 м**

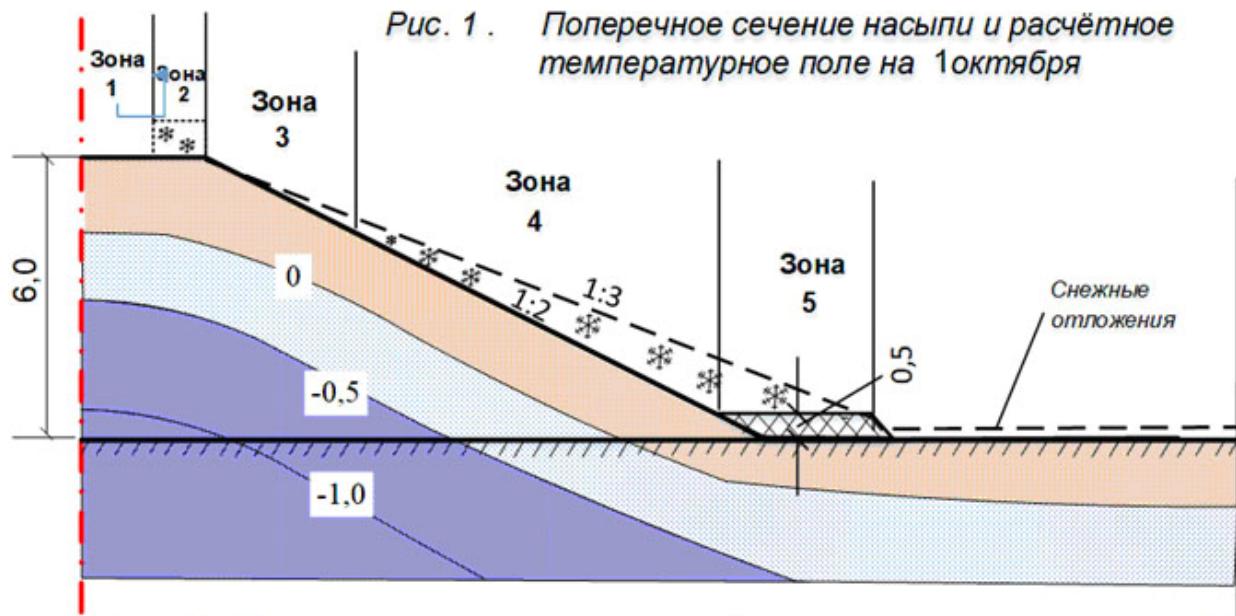
Рис. 1 . Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

Таблица 1 . Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха "t_p"

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха "t _p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция T, см	1	5	5	5	5	5	5
	2	5	5	5	5	5	5
	3	5	5	5	5	5	5
	4	5	10	20	5	5	5
	5	5	10	20	5	5	5
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	17,20	17,15	17,10
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-

Регион IV**Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 6 м**

Рис. 1. Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

Таблица 1 . Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха "t_p"

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха "t _p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне							
Теплоизоляция T, см	1	5	5	5	5	5	5
	2	5	5	5	5	5	5
	3	5	5	5	5	5	5
	4	5	10	20	5	5	5
	5	5	10	20	5	5	5
Охлаждающая площадка, верхняя (В), нижняя (Н), тепловой диод (Д)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	20,20	20,15	20,10
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-

Вариант V-2, а

Регион V

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 2 м

Рис. 1. Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

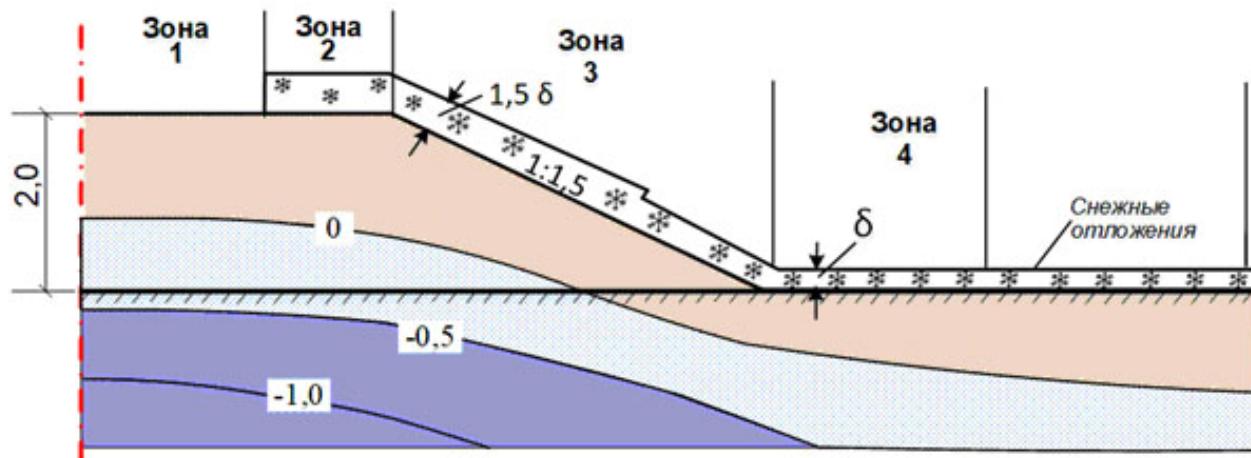
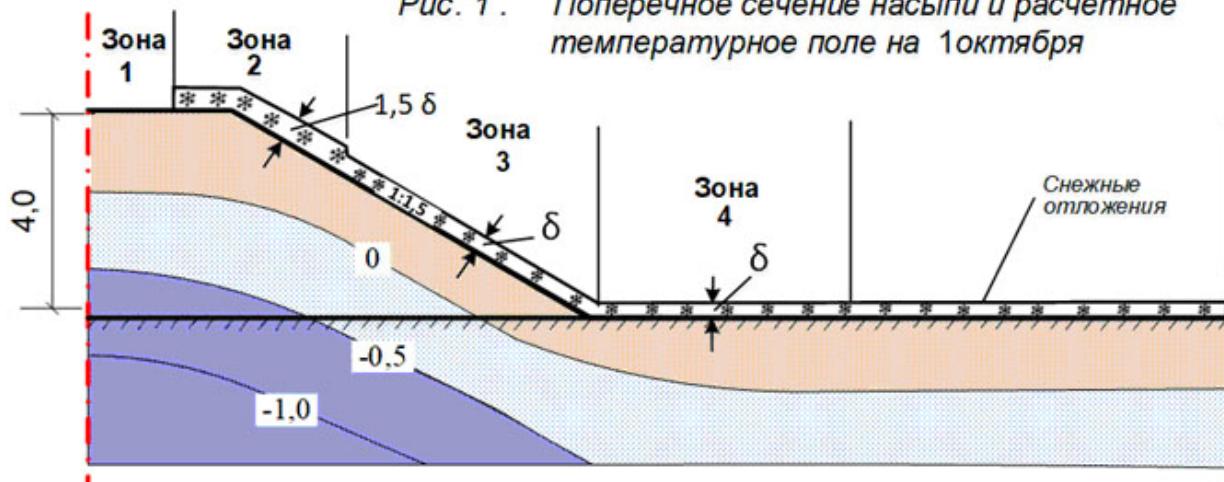


Таблица 1 .Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха " t_p "

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха " t_p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция T, см	1	5	5	5	-	-	-
	2	5	5	5	-	-	-
	3	-	5	-	-	-	-
	4	-	5	-	-	-	-
Вертикальная стенка h, м T, см	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	2,5	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	15,20	15,15	15,10
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-

Регион V**Мероприятия(табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов(рис. 1). Насыпь 4 м**

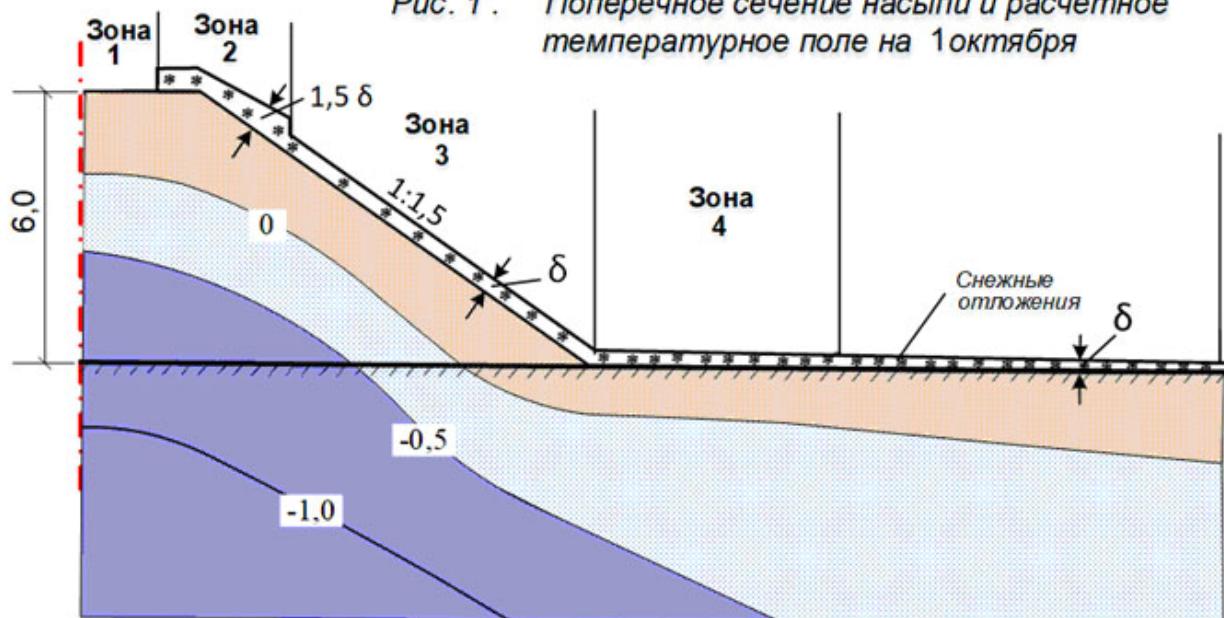
Рис. 1 . Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

Таблица 1 . Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха "t_p"

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха "t _p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция T, см	1	5	5	5	5	5	5
	2	5	5	5	5	5	5
	3	-	5	-	5	5	5
	4	-	5	-	-	-	-
Вертикальная стенка h, м T, см	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	2,5	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	17,20	17,15	17,10
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-

Регион V**Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 6 м**

Рис. 1. Поперечное сечение насыпи и расчётное температурное поле на 1 октября

Таблица 1 . Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис.1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха "t_p"

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температура воздуха "t _p ", °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противопоказанности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция T, см	1	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)
	2	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)
	3	-	5	-	5	5	5
	4	-	5	-	-	-	-
Вертикальная стенка h, м T, см	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	3,5	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-
Термоопора (термостабилизатор) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	20,20	20,15	20,10
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-