

Общество с ограниченной ответственностью
«ЛАБОРАТОРИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ
ТЕПЛОФИЗИКИ»
ООО «ЦЛИТ»

Лаборатория основана в 1934 году



Общество с ограниченной ответственностью
«ТехноНИКОЛЬ – Строительные системы»



РЕКОМЕНДАЦИИ
по применению теплоизоляции
для стабилизации
температурного режима
грунтов основания и тела
транспортных сооружений
в зоне вечной мерзлоты

Том 2

МОСКВА 2025

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 транспортных сооружений в зоне вечной мерзлоты, том 2. Рекомендации содержат три части. В первой части сформулированы теоретические основы применения теплоизоляции в сочетании с другими мероприятиями и с учётом конструкции сооружения. Во второй части рассмотрены конкретные области железных и автомобильных дорог: насыпи (продолжение материалов т.1), выемки, мостовые переходы, малые инженерные сооружения, водопропускные трубы. В третьей части выделены рекомендации по применению теплоизоляции для различных сооружений, рассмотренных во второй части.

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

ISBN 978-5-6045553-8-5

Подписано в печать: **30.11.2025**. Формат 60x90/8
Усл. печ. л. 31,63. Тираж 40 экз. Заказ № 114
Отпечатано ООО «Мастерская Печати Идей»
129226, Сельскохозяйственная ул., дом № 12а

Перепечатка без разрешения не допускается

ООО «Мастерская Печати Идей» **2025**.

3. БОКОВАЯ ОТКОСНАЯ ОХЛАЖДАЮЩАЯ ПЛОЩАДКА НАСЫПИ (БОН) В УСЛОВИЯХ СИЛЬНОГО СНЕГОПЕРЕНОСА	34
3.1. Принципиальная схема боковой откосной охлаждающей площадки насыпи (БОН)	34
3.2. Особенности температурного режима грунтов основания и тела насыпи при применении БОН	36
4. ОТДЕЛЬНЫЕ ОХЛАЖДАЮЩИЕ ПЛОЩАДКИ НАСЫПИ В УСЛОВИЯХ СИЛЬНОГО СНЕГОПЕРЕНОСА	41
4.1. Принципиальные схемы отдельных охлаждающих площадок насыпи	41
4.2. Особенности температурного режима грунтов основания и тела насыпи и прилегающей территории при применении отдельных охлаждающих площадок	43

ЧАСТЬ II

ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ ...	49
--	-----------

5. НАСЫПИ	50
5.1. Общая характеристика	50
5.2. Насыпи высотой до 2,0 м в регионах с малым снегопереносом	50
5.3. Насыпи высотой до 2,0 м в регионах с сильным снегопереносом	56
6. ВЫЕМКИ	61
6.1. Общие положения	61
6.2. Выемки открытого типа глубиной до 2,0 м для регионов с сильным снегопереносом	61
6.3. Выемки тоннельного типа глубиной более 2.0 м для регионов с сильным снегопереносом	63
6.4. Выемки для регионов с отсутствием снегопереноса	71
7. МОСТОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ	78
7.1. Общие положения	78

7.2. Уширенные площадки	78
7.3. Боковые конусные площадки в зоне устоя моста	83
7.4. Глубинное охлаждения грунтов оснований опор мостов	86
8. МАЛЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ, УСТАНОВЛЕННЫЕ НА НАСЫПЯХ ЖЕЛЕЗНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	89
8.1. Характеристика объектов	89
8.2. Постановка задачи	89
8.3. Температурный режим грунтов оснований	94
9. ВОДОПРОПУСКНЫЕ ТРУБЫ	98
9.1. Общие положения	98
9.2. насыпи в зоне водопропускной трубы	98
9.3. Зона оголовка водопропускной трубы в регионах с сильным снегопереносом	101
9.4. Откосная охлаждающая площадка	101
9.5. Зона тела трубы	103

ЧАСТЬ III

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЧЁТУ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗОНЫ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

10. ОХЛАЖДАЮЩИЕ ПЛОЩАДКИ	107
10.1. Общие положения	107
10.2. Центральные поверхностные площадки	110
10.3. Боковые откосные площадки	111
10.4. Боковые поверхности площадки	112
10.5. Отдельные поверхностные площадки	114
10.6. Фильтрующие поверхностные площадки	115
11. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАСЫПЯМ	116
11.1. Основные принципы, заложенные в рекомендациях ...	116
11.2. Пояснения по структуре рекомендаций	118
11.3. Варианты рекомендуемых конструкций насыпи и мероприятий по стабилизации температурного режима грунтов	119
12. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫЕМКАМ	129
12.1. Основные принципы, заложенные в рекомендациях.	129

Пояснения по структуре рекомендаций	
12.2. Варианты рекомендуемых мероприятий по стабилизации температурного режима грунтов для выемок тоннельного типа в регионах I, II, III	129
12.3. Выемки для регионов IV и V	129
13. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСКУССТВЕННЫМ СООРУЖЕНИЯМ	139
13.1. Мостовые переходы	139
13.2. Водопрпускные трубы	139
14. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МАЛЫМ ИНЖЕНЕРНЫМ СООРУЖЕНИЯМ	141
15. ЛИТЕРАТУРА	146
16. Приложение А. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	148

ВВЕДЕНИЕ

Рекомендации посвящены характеристике теплоизоляции как мероприятия для стабилизации температурного режима грунтов основания и тела транспортных сооружений и методике применения теплоизоляции в практике. Выпущены в 2-х томах. Оба тома содержат теоретические основы применения теплоизоляции для стабилизации температурного режима грунтов в зоне вечной мерзлоты и рекомендации по конкретным видам сооружений. В первом томе [1] даны рекомендации по насыпям высотой более 2-х м. Во втором томе рассмотрены насыпи высотой до 2,0, выемки, мостовые переходы, малые инженерные сооружения (шкафы управления, вагончики для оборудования и обслуживающего персонала и т.п., устанавливаемые на земляном полотне), водопропускные трубы.

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 сооружений. 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 этих мероприятий является теплоизоляция. Однако в настоящее время теория применения теплоизоляции при сооружении дорог на вечной мерзлоте не разработана: имеется целый ряд разрозненных рекомендаций, иногда противоречивых, иногда вообще неверных, но в целом замкнутой и обоснованной системы рекомендаций нет. Целью данной работы является создание такой системы.

При выполнении работы прежде всего опирались на известные теоретические работы [3], 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 мониторинге крупнейших объектов, таких как БАМ, железные и автомобильные дороги на Севере Западной Сибири и др., участия в разработке нормативно-рекомендательных документов [15, 20, 21 и др.].

В результате разработана теория применения теплоизоляции в дорожном строительстве, включающая следующие основные положения:

- сформулированы рекомендации по подготовке и проведению численных теплофизических расчётов;

- сформулированы рекомендации по учёту узловых природных особенностей:

- а) местных климатических условий (выделено 5 регионов);

- б) мерзлоты сливающегося и несливающегося типа;

- в) глобального потепления;

- выявлено влияние элементов земляного полотна и искусственных сооружений на температурный режим, как в отдельности, так и в общей системе;

- выявлены эффективные, неэффективные и вредные сочетания мероприятий. Рассмотрены допускаемые в практике ошибки;

- выявлена многогранная роль теплоизоляция в зависимости от условий её применения (амортизационная, охлаждающая, растепляющая, ускоряющая тепловой процесс и замедляющая его и др.);

- разработаны типовые схемы конструкции с мероприятиями по охлаждению, которые можно применять без теплофизических расчётов (при необходимости могут быть сделаны уточнения расчётами).

Следует отметить, что разработанные теоретические положения и практические рекомендации относятся к тепловым процессам, т.е. разработаны основные положения теории теплового взаимодействия сооружений с вечномёрзлыми грунтами. Вопросы прочности, несущей способности, технологии, экологии и др. специально не рассматривались, однако целый ряд важных рекомендаций также разработан.

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

ЧАСТЬ I

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

1. МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ГРУНТАХ ОСНОВАНИЙ И ТЕЛА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПУТЁМ ФОРМИРОВАНИЯ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

1.1. Снежные отложения – один из главных факторов растепления и деградации мерзлоты.

Основным фактором, определяющим температуру грунта, является температура наружного воздуха. В зимний период в грунт поступает холод, в летний - тепло. Если годовой баланс температур отрицательный, то формируется мерзлота, то есть грунты круглый год находятся в мёрзлом состоянии за исключением поверхностных слоёв, которые летом оттаивают, а зимой вновь замерзают. Однако количество холода и тепла, поступающего в грунт, также существенно зависит от условий на поверхности земли (от наличия растительного покрова, теплоизоляции и др.). При этом одним из самых значительных факторов выступают снежные отложения. На рис. 1.1 приведена зависимость температуры грунта на глубине нулевых амплитуд в установившемся режиме от толщины снежного покрова для региона расположения г. Салехард (среднегодовая температура воздуха составляет минус 5,9°С). Из графика видно, что при свободной от снега поверхности температура грунта минимальна - минус 5°С, но уже при толщине снега 0,25 м она повышается до 0°С, а при дальнейшем увеличении снежного покрова достигает +6°С. В зависимости от температуры воздуха, режима снегонакопления, плотности снежного покрова и др. графики имеют различные численные параметры, но схожий характер.

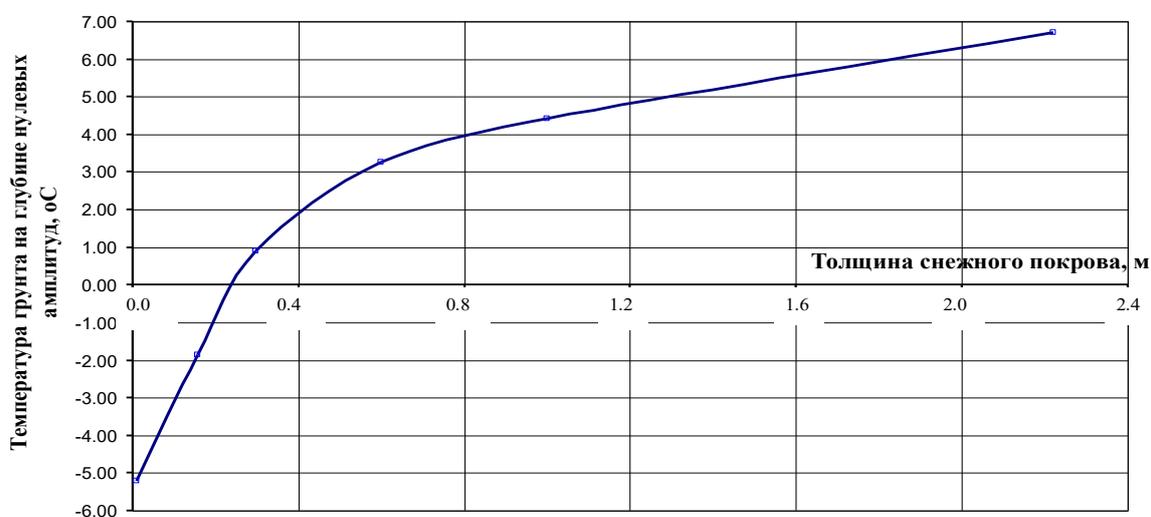


Рисунок 1.1 - Зависимость температуры грунта на глубине нулевых амплитуд в установившемся режиме от толщины снежного покрова

1.2. Теплоизоляция – лучшее средство борьбы с вредным влиянием снегоотложений.

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.). Подробнее это описано в работе [1].

В данном случае для нас важным свойством является то, что теплоизоляция резко понижает температуру грунта в зоне снежных отложений, т. е. является мероприятием по охлаждению грунтов. Это свойство будет многократно продемонстрировано в главах данных Рекомендаций.

1.3. Классификация регионов с различными снежными отложениями

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. 1.1 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. 1.2.

Карта (рис. 1.2) была составлена на основе анализа климатических справочников, а характер снежных отложений сформулирован на основе более чем полувековых наблюдений авторов в натуре в пределах всех 5 регионов.

Цель этой карты – показать, что в различных регионах граничные условия разные, и следует совершенно по-разному подходить к проектированию сооружений. 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) 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.

Таблица 1.1 – 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

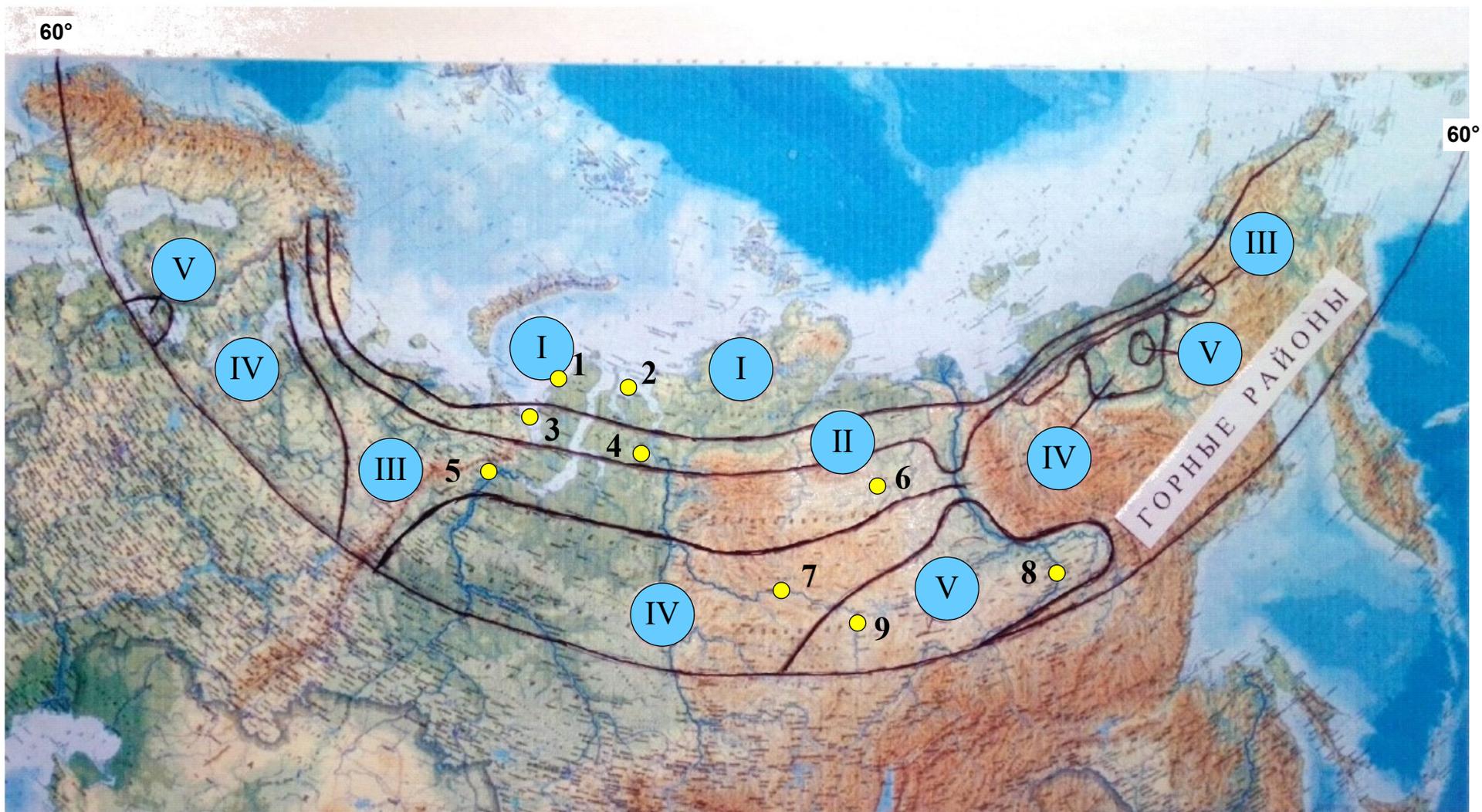


Рисунок 1.2. Расположение регионов (I-V) с различным снегопереносом и характерными объектами №№ 1 – 9 со среднегодовой температурой воздуха: Харасавей (- 9,2°), Диксон (- 11,1°), Маррасале (- 7,8°), Дудинка (- 9,7°), Салехард (- 5,9°), Оленёк (- 11,5°), Тура (- 8,6°), Якутск (- 9,0°), Мирный (- 6,9°).

1.4. Оценка растепляющего 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 существенное. На рис. 1.3 представлено сопоставление зависимости температуры грунта на глубине нулевых амплитуд от толщины снежного покрова для всех пяти регионов. Графики взяты для нормативной температуры наружного воздуха примерно минус 9° С. Из рис. 1.3 видна разница температур для одной и той же толщины снега для разных регионов: например, при одной и той же толщине снега 0,5 м температура грунта на глубине нулевых амплитуд для региона I равна минус 6°С, для региона V - плюс 4,5° С.

Следует отметить и ещё очень важную особенность. Зависимости, приведённые на рис. 1.3, справедливы для тех областей, которые обозначены на карте рис. 1.2. Для нескольких областей III, IV, V, изображённых на карте рис. 1.2 в заполярной зоне Восточной Сибири, зависимости будут иные, и их следует определять в индивидуальном порядке.

В таблицах 1.2 и 1.3 приведены изменения толщины и плотности снега в течение года.

Таблица 1.2 - Изменение толщины снега в течение года, m (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 1.3 - 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

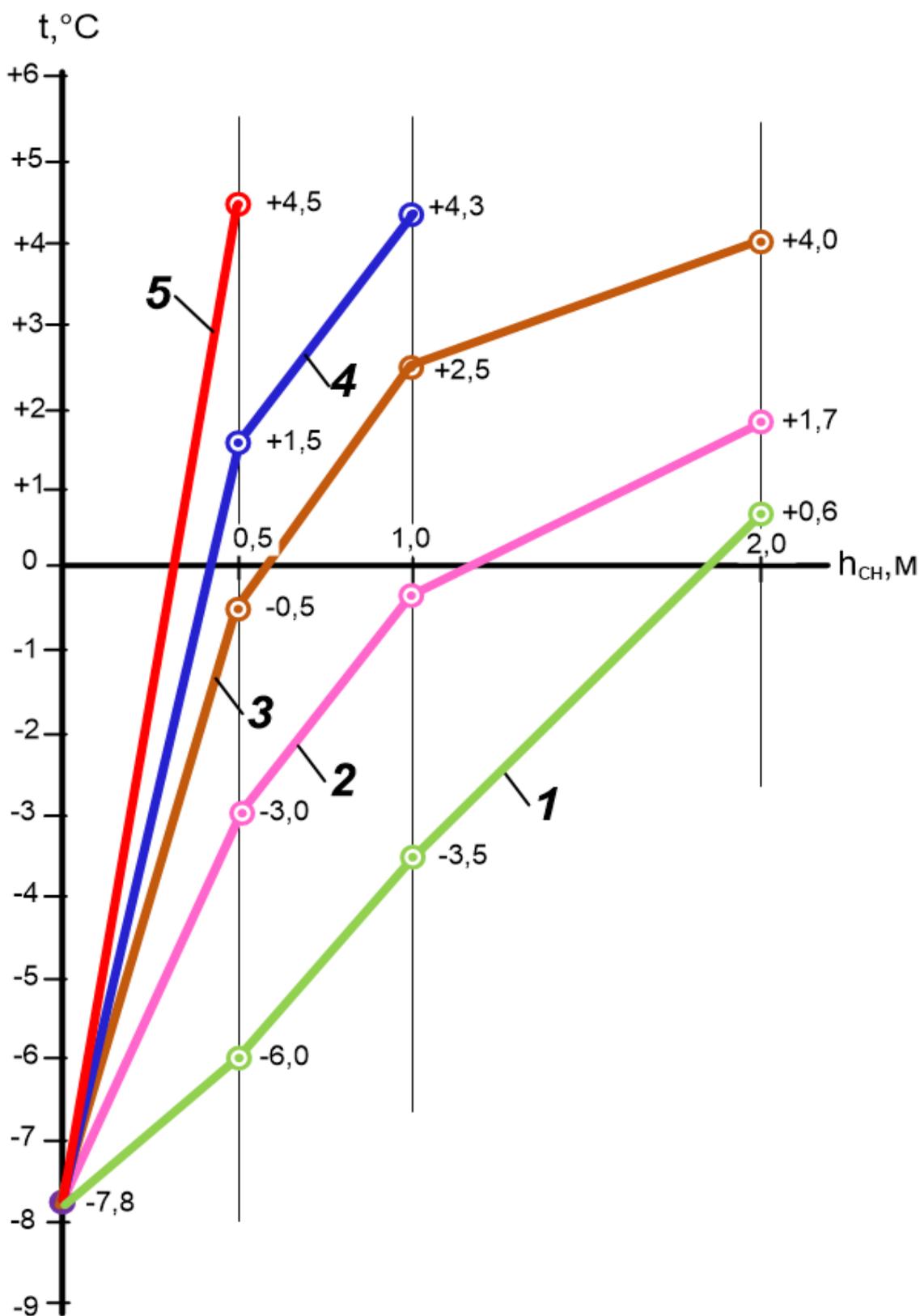


Рисунок 1.3 - Сопоставление зависимости температуры грунта на глубине нулевых амплитуд от толщины снежного покрова для различных регионов: 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно для регионов I, II, III, IV, V

1.5. Методика определения расчётной температуры наружного воздуха

Нормативная температура воздуха t_n принимается по данным Свода правил по климату [2, табл. 5.1]. Для расчётов температурного режима грунтов оснований должна быть сделана поправка на солнечную радиацию Δt_p . Расчёт температурного режима для современного температурного состояния, таким образом, производится на температуру $t_{нач}$

$$t_{нач} = t_n + \Delta t_p$$

При расчёте температурного режима сооружения на весь период его эксплуатации (50 лет) следует учитывать поправку на глобальное потепление [1, гл. 14].

$$t_{расч} = t_{нач} + \Delta t_{гп} = t_n + \Delta t_p + \Delta t_{гп}$$

В первом приближении допускается поправку на глобальное потепление принимать $\Delta t_{гп} = 2,5^\circ\text{C}$ (т.е. $0,05$ град/год \cdot 50 лет), а поправку на солнечную радиацию в зависимости от географической широты:

более 69° - плюс $0,7^\circ\text{C}$;

65° - 69° - плюс $1,3^\circ\text{C}$;

63° - 65° - плюс $1,7^\circ\text{C}$;

60° - 63° - плюс $2,1^\circ\text{C}$;

менее 60° - плюс $2,5^\circ\text{C}$.

В каждом из пяти регионов своё распределение среднемесячных температур при одной и то же среднегодовой температуре. В табл. 1.4 приведены эти распределения $t_{расч}$ для среднегодовых температур -9°C , -6°C , -4°C , -2°C , 0°C , $+1^\circ\text{C}$.

Таблица 1.4 - Расчётные температуры воздуха для регионов I-V

NN 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	-9,0
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	
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	+19,2	+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	-12,0	-17,1	-6,0
II	-20,5	-20,2	-16,3	-8,9	-1,3	+6,2	+10,3	+9,1	+5,0	-4,8	-12,0	-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	
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	+10,1	-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	-4,0
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	
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 1.4

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	-2,0
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	
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	0,0
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	
V	-23,9	-20,3	-10,7	+5,3	+13,1	+19,4	+21,8	+18,9	+11,9	-2,1	-12,6	-24,0	
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	+1,0
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	+10,9	-0,5	-6,9	-11,8	
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	

2. ФОРМИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В НАСЫПЯХ И ВЫЕМКАХ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В РЕГИОНАХ С ОТСУТСТВИЕМ СНЕГОПЕРЕНОСА

2.1. Сопоставление температурного режима грунтов основания в зоне выемки с наклонными и вертикальными откосами

При отсутствии снегопереноса вертикальные поверхности остаются в зимний период оголенными от снега, поэтому через них идёт интенсивное поступление холода в грунт. На рис. 2.1 и 2.2 приведены два поперечных сечения выемки одной и той же глубины (4.0 м) обычной схемы (с наклонными откосами - схема 5-1 на рис. 2.1) и с вертикальными откосами (схема 5-2).

Стандартное поперечное сечение выемки, применяемое в регионах V, где снегоперенос либо отсутствует, либо не превышает $100 \text{ м}^3/\text{м}$, изображено на рис. 2.1,а. Откосы с крутизной 1:1,5. Характеристика граничных условий представлены в табл. 2.1, 2.2, а грунтов – в табл. 2.3. В зоне 1 (проезжая часть) снег небольшой, поэтому эта зона является охлаждающей. Зона 4 – ненарушенная территория, в её пределах формируется также мерзлота. Слабым местом является зона 3 – откосы. Здесь по данным обследований толщина снега соответствует зоне 4, но летом оголённая от растительности поверхность, хорошо пропускает тепло в грунт.

Применение габионов позволяет откос выемки сделать вертикальным (схема 5–2 на рис. 2.2). Снег на вертикальной поверхности отсутствует, поэтому в зимнее время через поверхность поступает мощный поток холода.

На рис. 2.2 представлена схема выемки глубиной 4,0 м. При большей глубине устойчивость откосов легче обеспечить при ступенчатой схеме откосов (схема 5-3 на рис. 2.3). Но при этом формируется горизонтальный участок с граничными условиями 5, формирующий растепление. Общий эффект откосов является охлаждающим, а при укладке искусственной теплоизоляции в зоне 5 эффект существенно увеличивается.

На рис. 2.4÷2.7 представлены температурные поля на момент окончания тёплого периода года при различных среднегодовых температурах воздуха для стандартной схемы выемки (схема 5-1). При температуре воздуха минус $9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ формируется температурное поле с низкими температурами (рис. 2.4), поэтому никаких проблем не возникает. При более высокой температуре наружного воздуха (рис. 2.5, 2.6, 2.7) происходит мощное протаивание, поэтому требуются меры по охлаждению.

При применении вертикальных откосов по схеме 5-2 температурное поле резко улучшается: различие температурных полей наглядно видно из сопоставления рис. 2.5 (схема 5-1) и рис. 2.8 (схема 5-2) для среднегодовой температуры воздуха минус $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Схема 5-3 позволяет существенно улучшить мерзлотное состояние не только при температуре минус $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, но и при температуре минус $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.10).

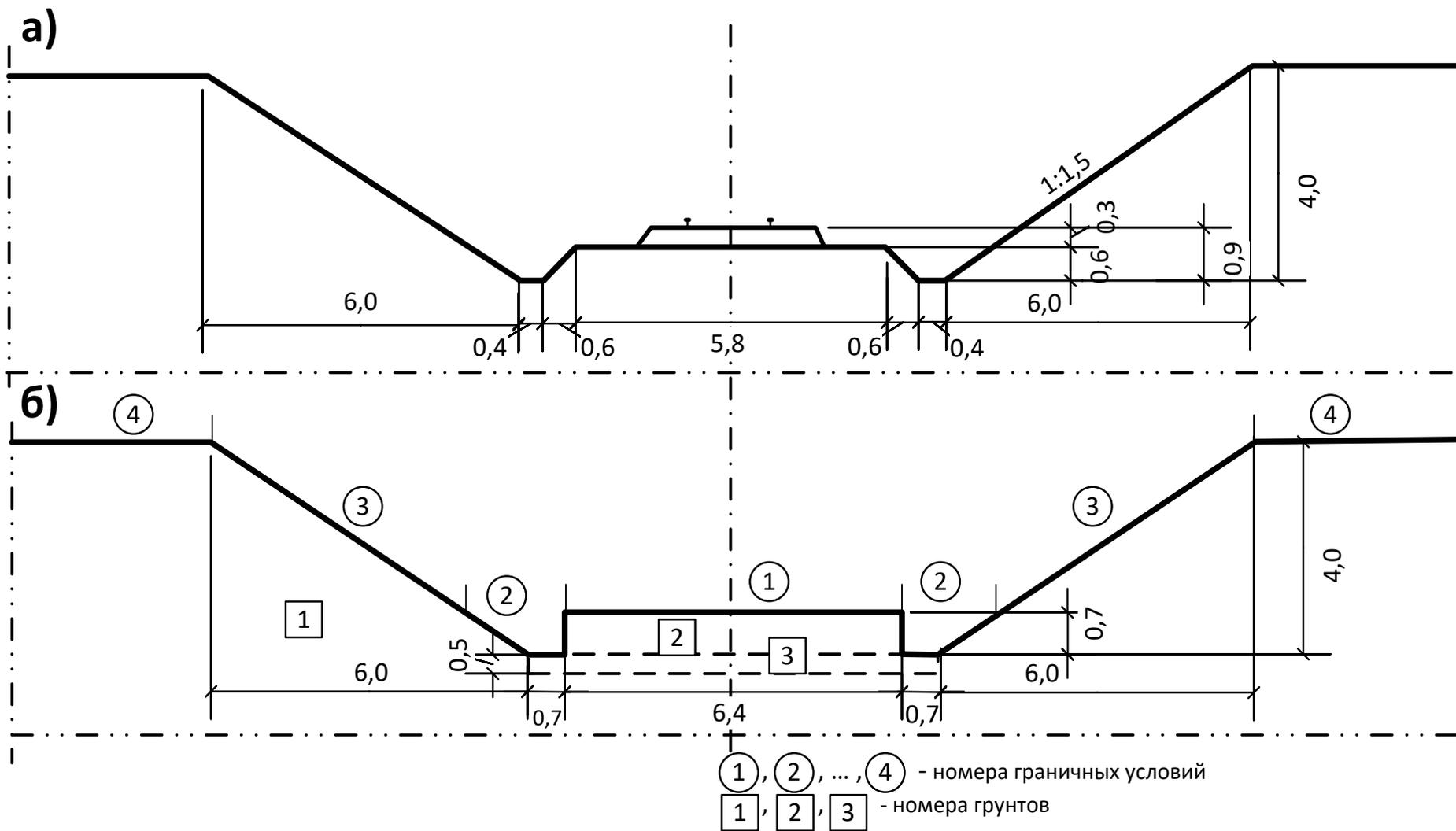


Рисунок 2.1 - Поперечное сечение (а) и расчётная схема (б) выемки региона V (схема 5-1)

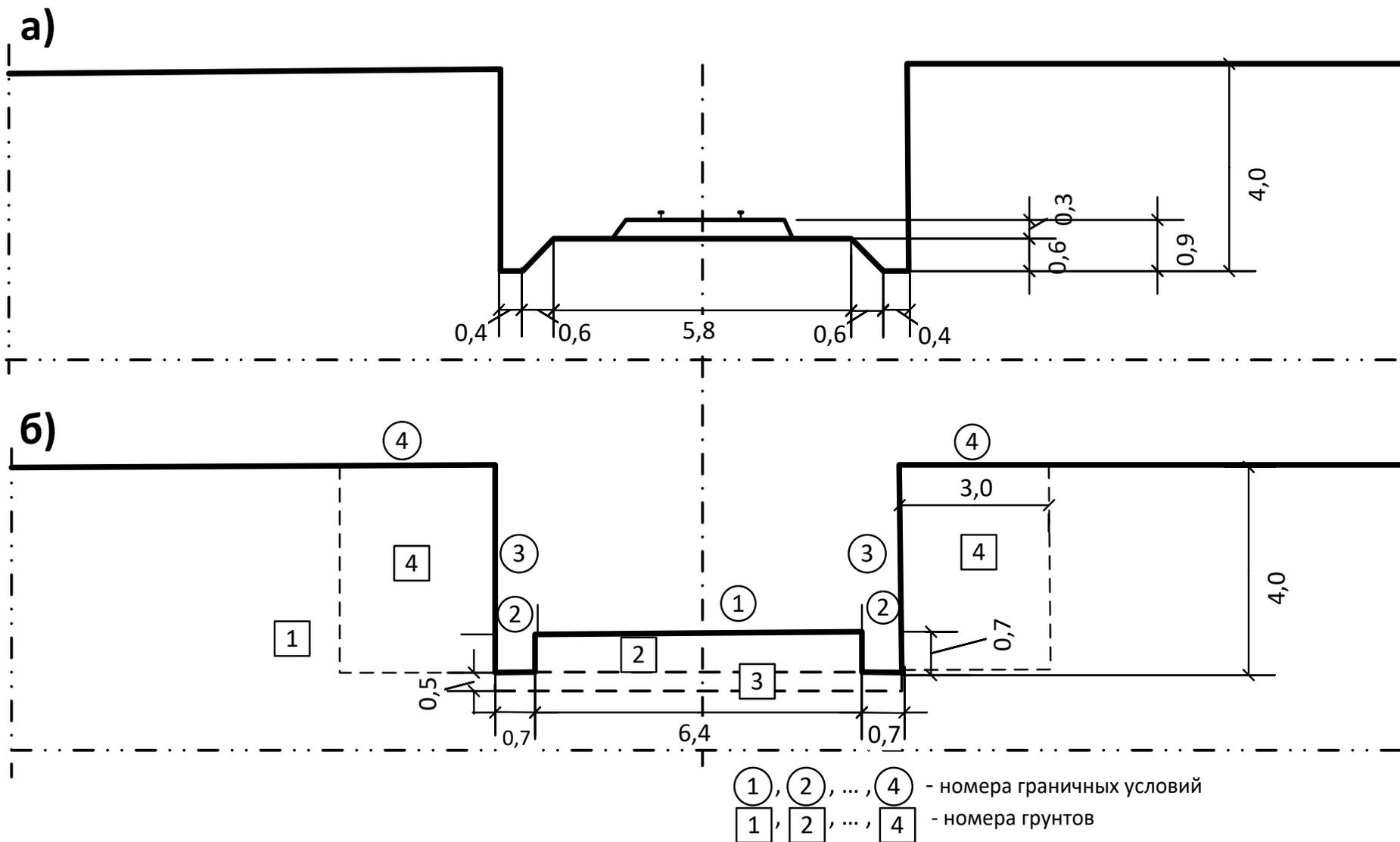


Рисунок 2.2 - Поперечное сечение (а) и расчётная схема (б) выемки региона V (схема 5-2)

Таблица 2.1 - Характеристика зон граничных условий на схемах 5-1, 5-2, 5-3

NN зон на рис. 2.1, 2.2, 2.3	Индекс зон	Характеристика зон
1	ГЗ	Полностью оголённая от растительного покрова летом и при незначительном снежном покрове зимой горизонтальная поверхность (проезжая часть автомобильной и железной дороги без обочин)
2	5М1	Оголённая летом поверхность, зимой - двойной снежный покров «2δ» (зона кювета)
3 (схема 5-1)	5М2	Оголённая летом поверхность, зимой – одинарный снежный покров «δ»
3 (схема 5-2 и 5-3)	Г1	Полностью оголённая от снега и растительного покрова вертикальная поверхность
4	5М3	Летом - растительный покров, зимой - одинарный снежный покров «δ»
5	5М2	Оголённая летом поверхность, зимой - одинарный снежный покров «δ»

Таблица 2.2 - Коэффициенты теплопередачи (ккал/(м²·час·град)) зон граничных условий

Индекс зоны граничных условий	Месяцы года											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ГЗ	2,0	2,0	2,0	2,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	7,5	3,0	2,5
5М5	0,41	0,37	0,40	0,70	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	2,13	0,72	0,49
Г1	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
5М2	0,59	0,54	0,59	1,06	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	3,33	1,03	0,74
5М3	0,59	0,54	0,59	1,06	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,33	1,03	0,74
5М1	0,30	0,27	0,30	0,54	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	1,82	0,53	0,37

Примечание: коэффициенты теплопередачи приведены для поверхности зоны граничных условий, независимо от ориентации; при замене наклонных поверхностей, например откоса, ступенчатой необходимо делать соответствующие поправки

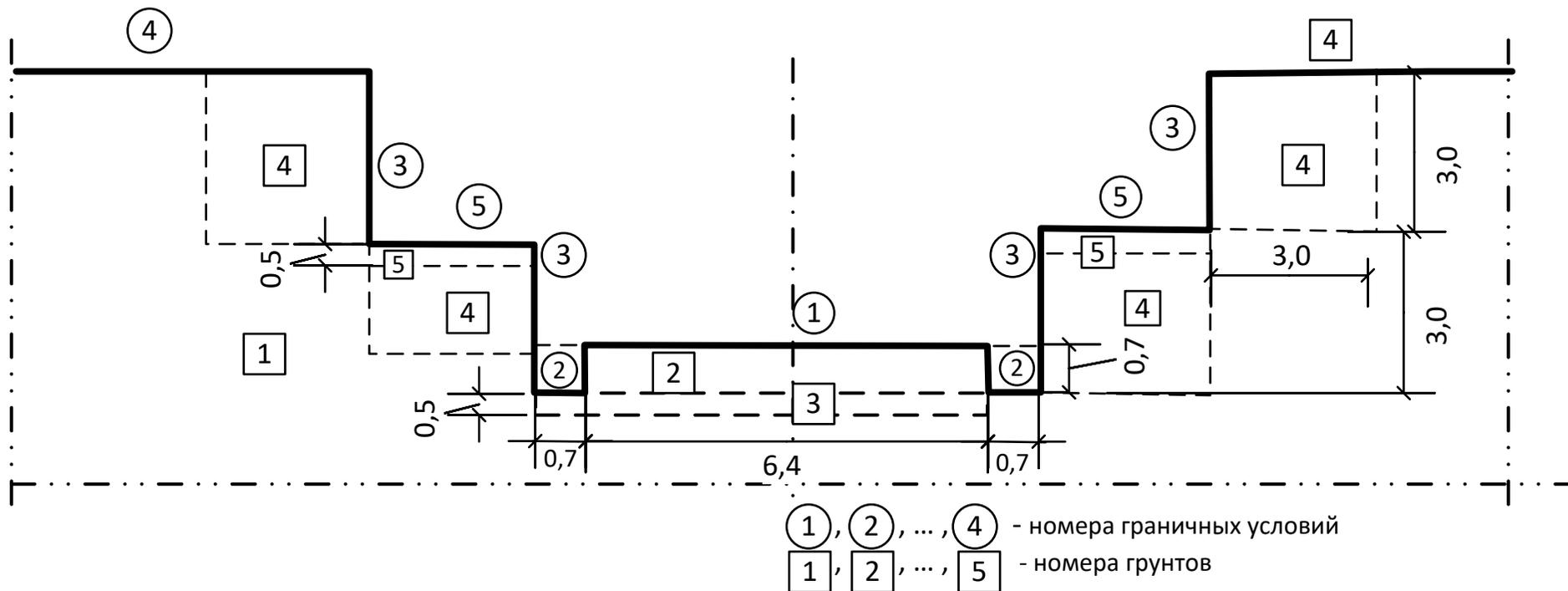


Рисунок 2.3 - Расчётная схема выемки региона V (схема 5 - 3)

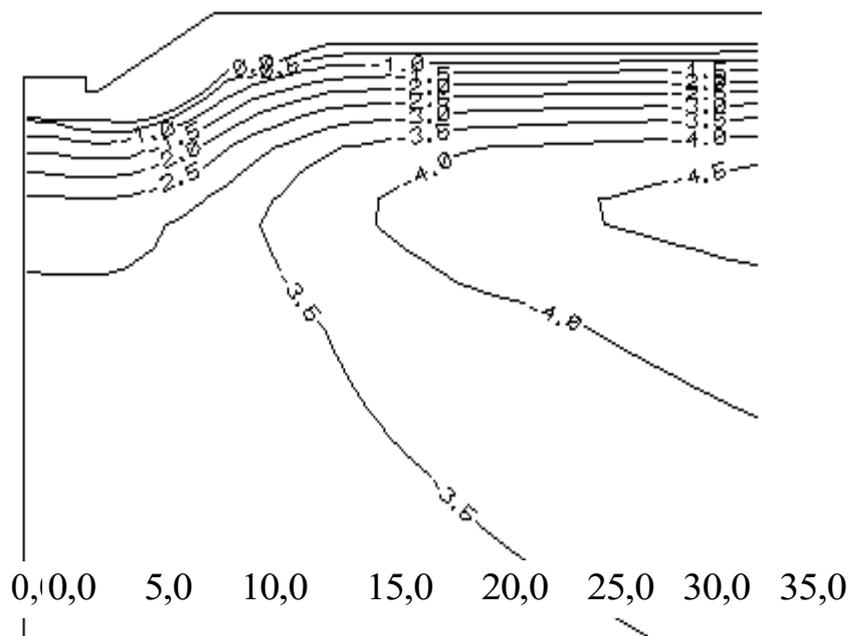


Рисунок 2.4 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,0 лет. Регион V, среднегодовая температура воздуха $-9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

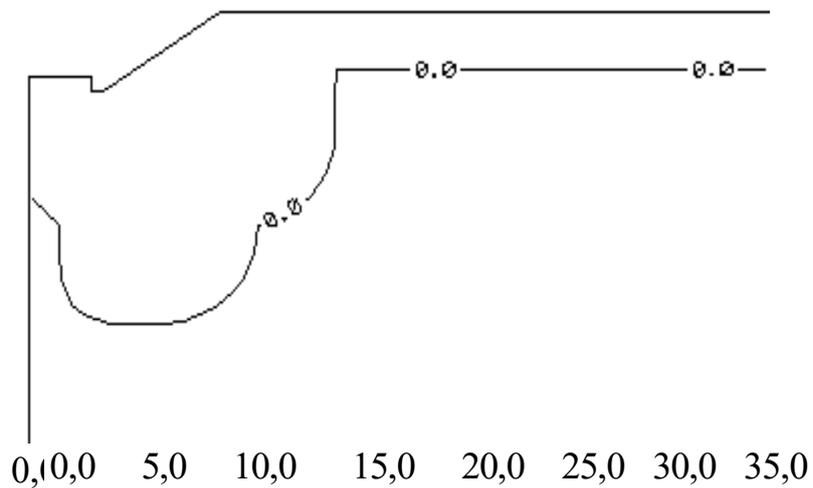


Рисунок 2.5 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,0 лет. Регион V, среднегодовая температура воздуха $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

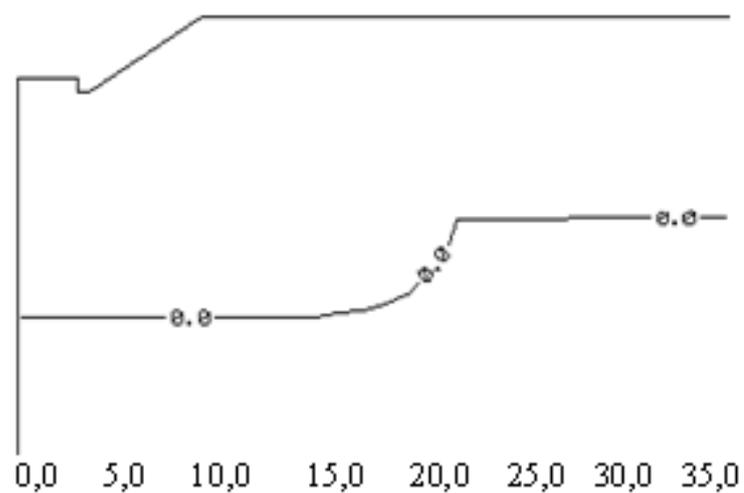


Рисунок 2.6 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,0 лет. Регион V, среднегодовая температура воздуха $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

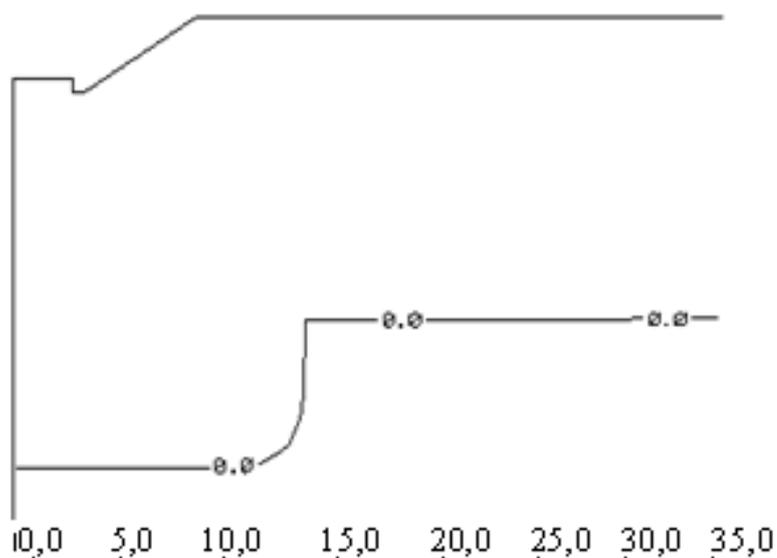


Рисунок 2.7 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,0 лет. Регион V, среднегодовая температура воздуха $+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

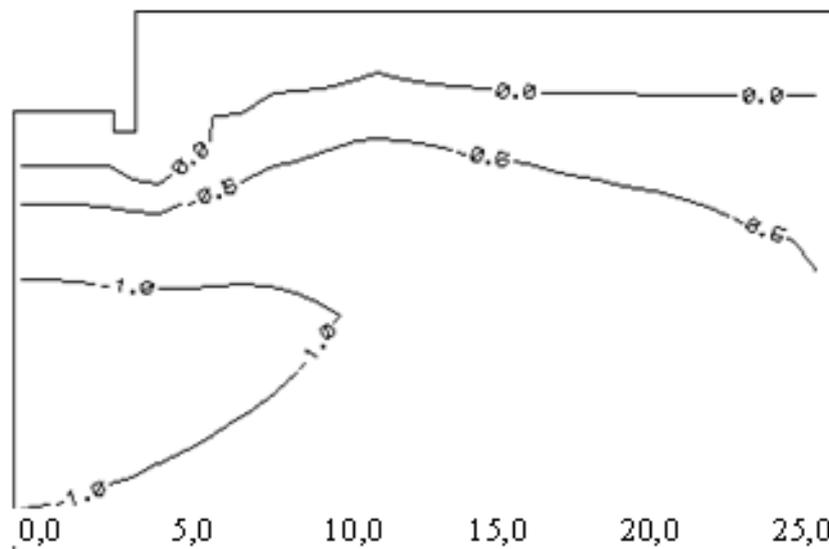


Рисунок 2.8 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,0 лет. Схема 5-2, регион V, среднегодовая температура воздуха $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

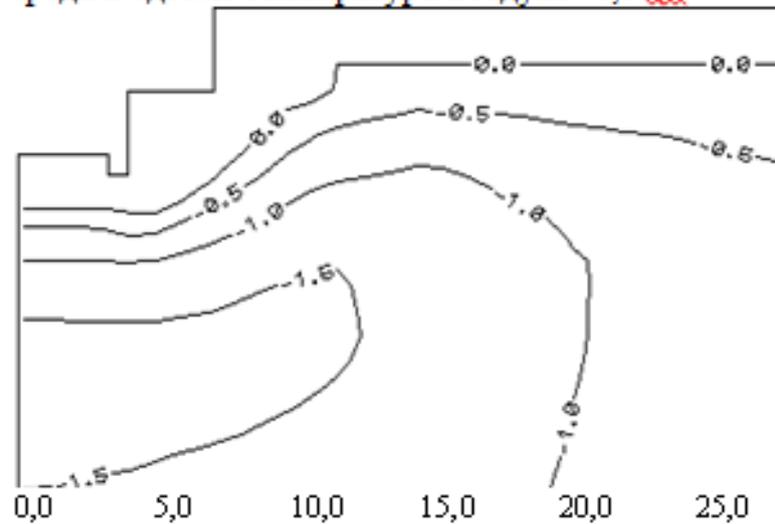


Рисунок 2.9 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,0 лет. Схема 5-3, регион V, среднегодовая температура воздуха $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

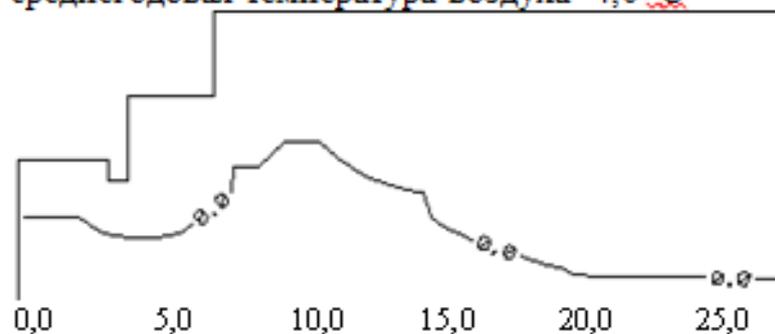


Рисунок 2.10 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,0 лет. Схема 5-3, регион V, среднегодовая температура воздуха -20°C

2.2. Сопоставление температурного режима насыпи с наклонными и вертикальными откосами.

Стандартное поперечное сечение насыпи, применяемое в регионе V, изображено на рис. 2.11,а (схема 5-5). Откосы с крутизной 1:1,5. Характеристика граничных условий представлена в табл. 2.4 и 2.2, а грунтов - в табл. 2.3.

Таблица 2.3 - Теплофизические характеристики материалов

NN п/п	Коэффициент теплопроводности, λ , ккал/(м·час·град)		Объёмная теплоёмкость, С, ккал/(м ³ ·град)		Скрытые теплоты, Q, ккал/м ³
	талый (λ_T)	мёрзлый (λ_M)	талый (C_T)	мёрзлый (C_M)	
1	1,6	1,9	650	500	20 000
2	1,6	1,9	650	500	12 000
3	0,14	0,14	520	400	9 600

В зоне 1 (проезжая часть) снег небольшой, поэтому эта зона является охлаждающей. В зонах 2 и 3 снег имеет полуторную толщину за счёт расчистки проезжей части. В зоне 4 снег одинарный. В летний период зоны 1, 2, 3, 4 оголены от растительного покрова. Зона 5 в стандартное поперечное сечение насыпи не входит. Отсыпка 0,5 м условна, на температурный режим практически не влияет, а предусмотрена для рассмотрения вариантов с теплоизоляцией. При рассмотрении стандартного поперечного сечения зона 5 соответствует естественным условиям окружающей территории, но с нарушенным растительным покровом.

На рис. 2.12 представлено температурное поле в насыпи (схема 5-5) в установившемся режиме для низкой среднегодовой температуры воздуха (минус 9 °С). Первый параметр - мёрзлое состояние грунтов оснований - обеспечивается здесь хорошо без всяких мероприятий по охлаждению (в данном случае никаких мероприятий не применялось). Температура грунтов оснований достигает минус 3 °С. Что касается второго параметра - глубины сезонного протаивания, то мерзлотное состояние грунтов недостаточно надёжное. Глубина сезонного протаивания в пределах тела насыпи достигает 3,0 м. Такая же глубина протаивания имеет место и в пределах зоны 5. Если грунты в пределах этой зоны высокольдистые, то возможны просадки грунтов и, как следствие, осадка протаявшей откосной части насыпи с образованием продольных трещин в проезжей части. Это явление широко наблюдается в центральной Якутии (регион V). Для уменьшения глубины сезонного

протаивания необходимо устройство теплоизоляции. Однако устройство наружной теплоизоляции на откосе - процесс достаточно трудоёмкий. В этом случае хорошо вписывается в данные природные условия схема 5-6 (рис. 2.11,б).

На рис. 2.13 приведено температурное поле в установившемся режиме для насыпи той же высоты (6 м), что и на рис. 2.12, но со ступенчатыми откосами и устройством теплоизоляции на горизонтальных участках. В результате температура грунта понизилась более чем в 2 раза, а глубина протаивания не превышает 1,0 м. Мерзлотное состояние насыпи надёжное.

На рис. 2.14 и 2.15 дано сопоставление температурных полей для тех же схем 5-5 и 5-6 при среднегодовой температуре воздуха минус 4 °С, а на рис. 2.16 и 2.17 при среднегодовой температуре воздуха минус 2 °С. В обоих случаях схема 5-5 не обеспечивает обоих параметров (температуры грунта и глубины сезонного протаивания), а при схеме 5-6 оба параметра обеспечиваются.

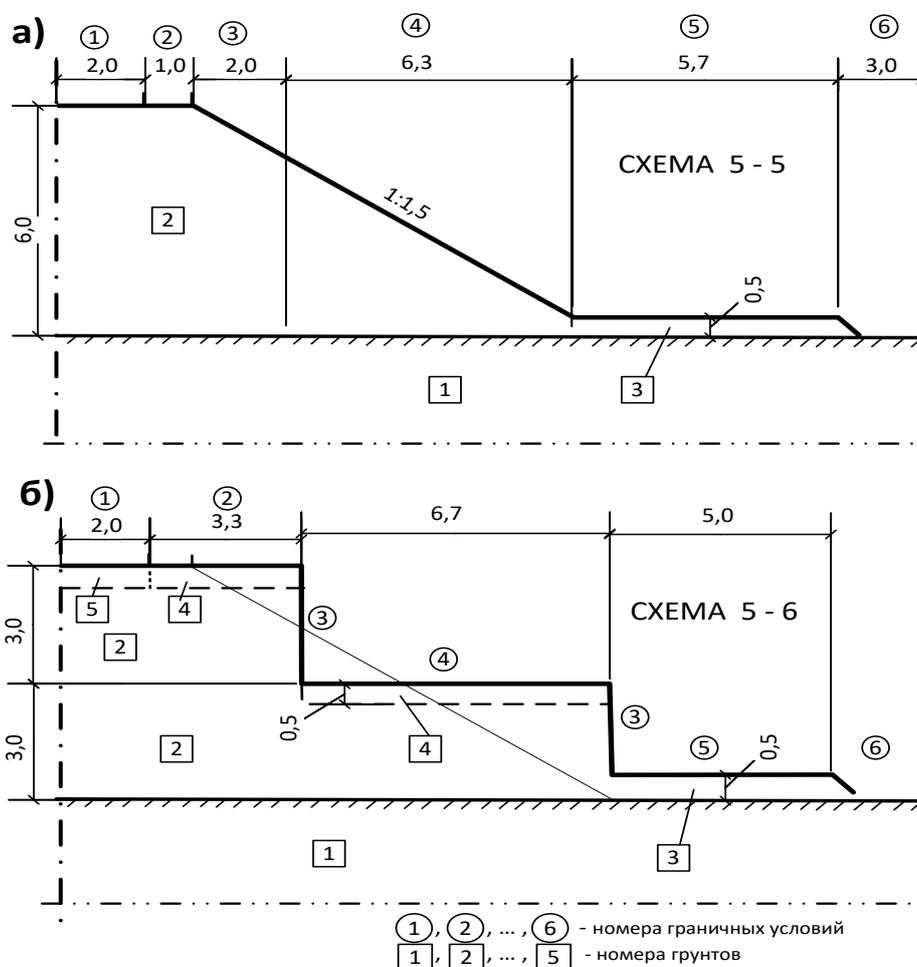


Рисунок 2.11 - Схемы поперечных сечений насыпи для региона 5: а - схема 5-5, б – схема 5-6

Таблица 2.4 - Характеристика зон граничных условий на схемах 5-5, 5-6

NN зон на рис. 2.11	Индекс зон	Характеристика зон
1	Г3	Полностью оголённая от растительного покрова летом и при незначительном снежном покрове зимой горизонтальная поверхность (проезжая часть автомобильной и железной дорог без обочин)
2	5М5	Оголённая летом поверхность, зимой - полуторный снежный покров «1,5δ» (в схеме 5-5 – обочина основной площадки насыпи, в схеме 5-6 – горизонтальная часть верхнего уступа откоса насыпи)
3 (схема 5-5)	5М5	Оголённая летом поверхность, зимой – полуторный снежный покров «1,5δ» (в схеме 5-5 – верхняя часть откоса насыпи)
3 (схема 5-6)	Г1	Оголённая летом от растительного покрова, зимой – от снежного покрова поверхность (вертикальная поверхность в уступах откоса насыпи)
4 и 5	5М2	Оголённая летом от растительного покрова, зимой – одинарный снежный покров «δ» (в схеме 5-5 - нижняя часть пологого откоса, в схеме 5-6 - горизонтальная часть уступа откоса)
6	5М3	Летом – растительный покров, зимой – одинарный снежный покров (ненарушенная территория)

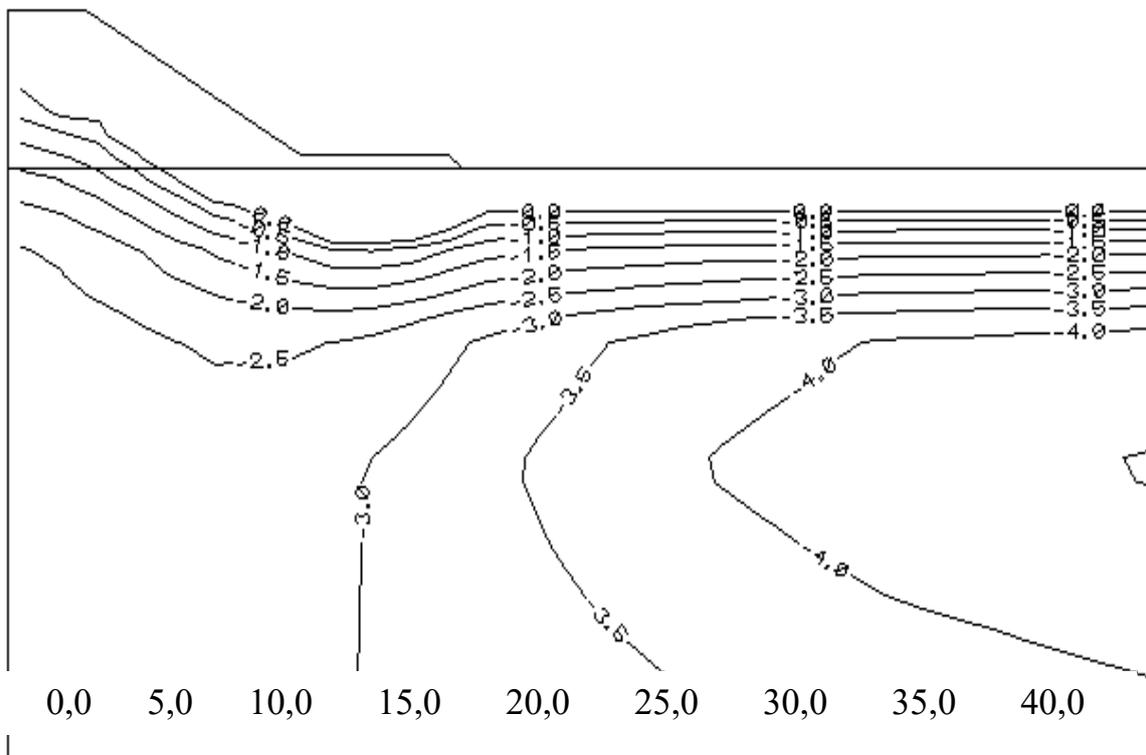


Рисунок 2.12 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,5 лет. Схема 5-5, регион V, среднегодовая температура воздуха -9.0°C

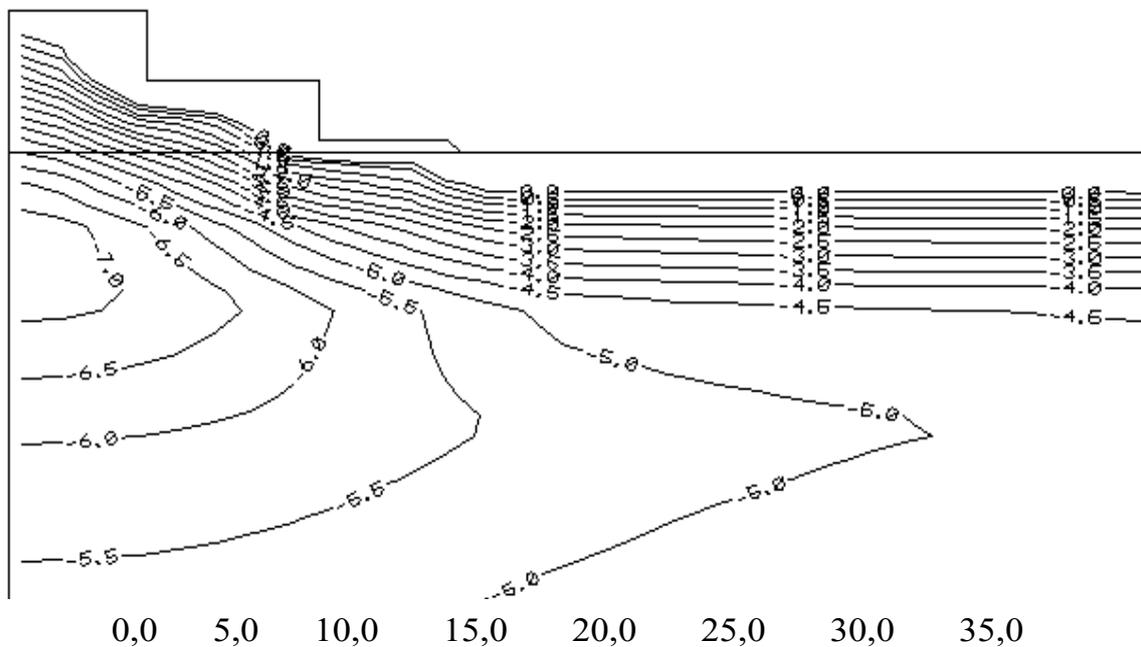


Рисунок 2.13 – Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,0 лет. Схема 5-6, регион V, среднегодовая температура воздуха $-9,0^{\circ}\text{C}$

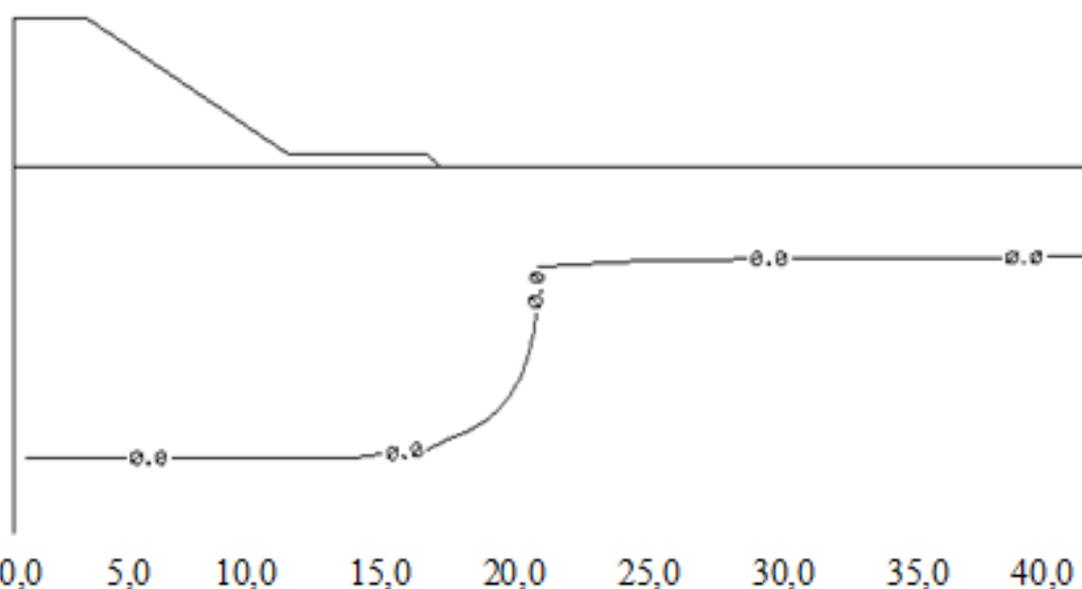


Рисунок 2.14 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,0 лет. Схема 5-5, регион V, среднегодовая температура воздуха $-4,0^{\circ}\text{C}$

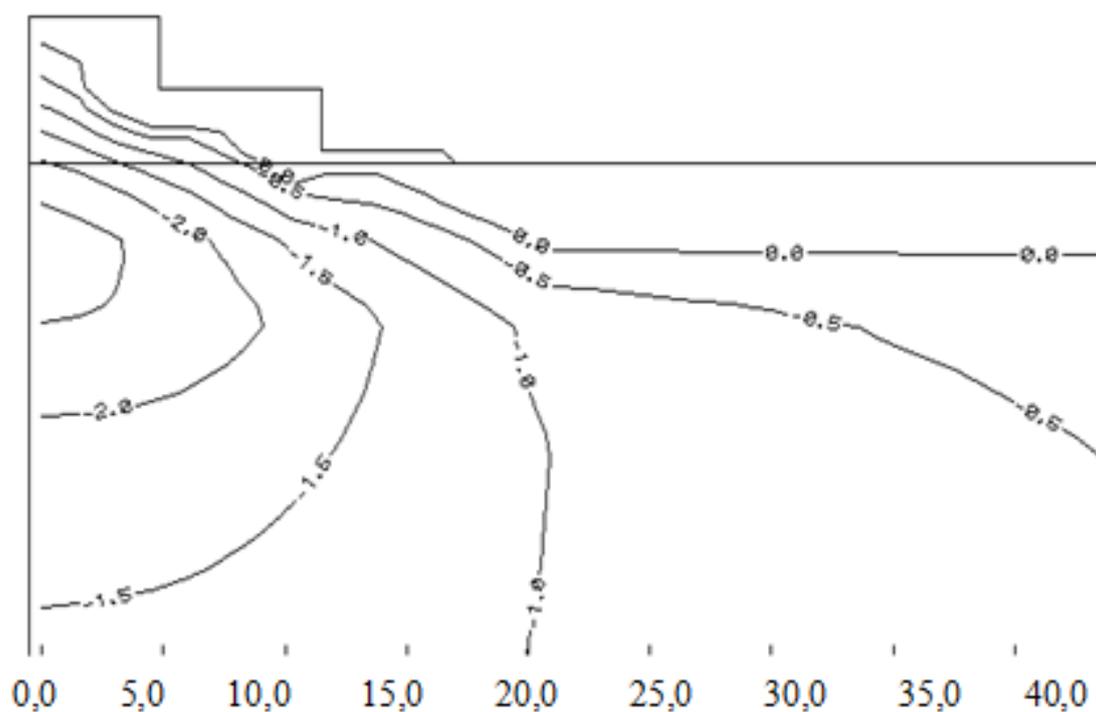


Рисунок 2.15 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,0 лет. Схема 5-6, регион V, среднегодовая температура воздуха $-4,0^{\circ}\text{C}$

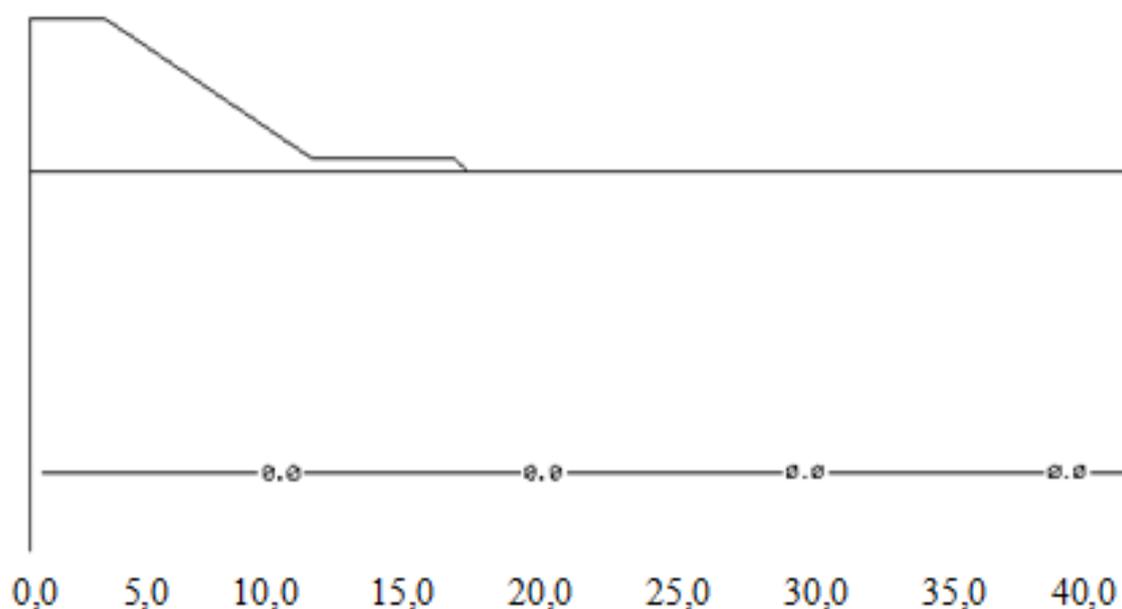


Рисунок 2.16 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,0 лет. Схема 5-5, регион V, среднегодовая температура воздуха $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

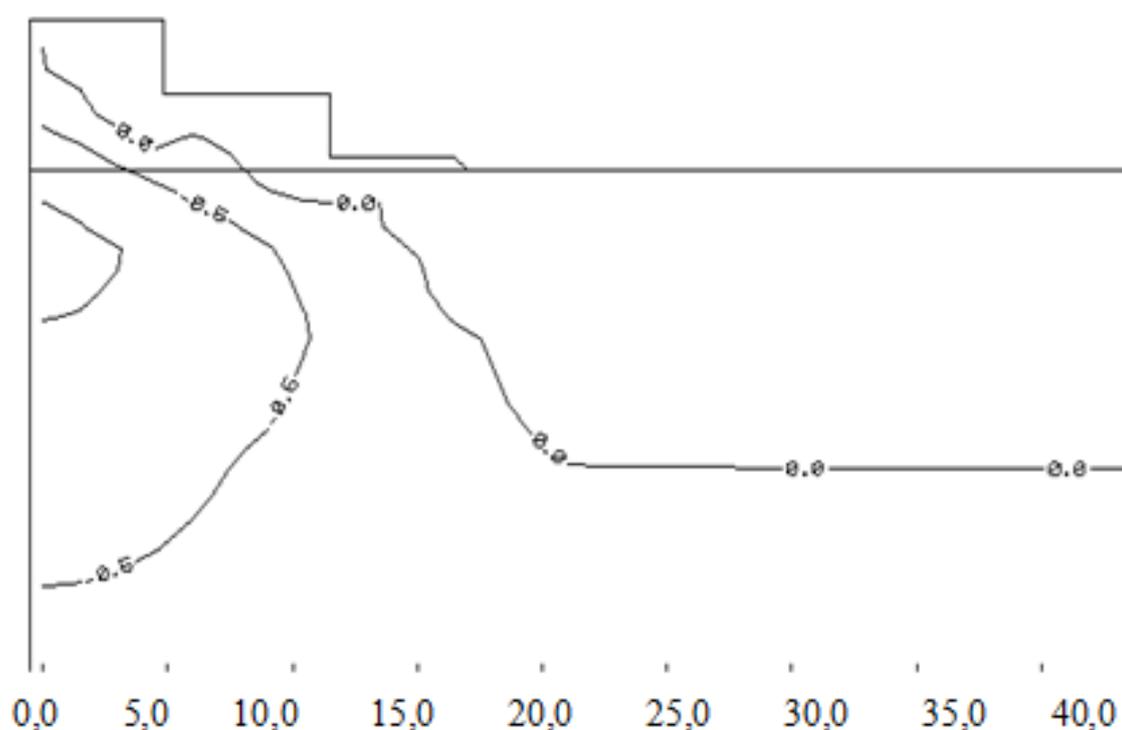


Рисунок 2.17 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) 50,0 лет. Схема 5-6, регион V, среднегодовая температура воздуха $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.3. Рекомендация по применению вертикальных поверхностей в поперечном сечении насыпей и выемок в регионах с отсутствием снегопереноса

Материалы, изложенные в пп. 2.1 и 2.2, позволяют сделать следующие выводы:

1) при отсутствии снегопереноса (в основном это регион V) в выемках и насыпях следует по возможности применять вертикальные поверхности. Это наиболее сильное мероприятие среди мероприятий поверхностного действия. Конструктивное исполнение эффективно может быть осуществлено с помощью габионов.

2) образующиеся горизонтальные участки при откосах ступенчатого типа следует защищать теплоизоляцией, которая позволяет уменьшить глубину сезонного протаивания на откосах. Это мероприятие необходимо, если конструктивное исполнение вертикальных поверхностей с помощью габионов не устраняет опасность сдвигов откосных частей при максимальном сезонном протаивании;

3) укладка теплоизоляции в зоне 5 (у подошвы откоса насыпи) необходима, поскольку она активизирует действие мероприятий на протяжении откоса и, не допуская в зоне 5 протаивания грунтов, способствует повышению устойчивости откосов и недопущению горизонтальных трещин в проезжей части;

4) при среднегодовой температуре воздуха выше минус 2 °С кроме вертикальных поверхностей может оказаться целесообразным применение дополнительных мероприятий (габионы-диоды, глубинное охлаждение и т.п.).

3. БОКОВАЯ ОТКОСНАЯ ОХЛАЖДАЮЩАЯ ПЛОЩАДКА НАСЫПИ (БОН) В УСЛОВИЯХ СИЛЬНОГО СНЕГОПЕРЕНОСА

3.1. Принципиальная схема боковой откосной охлаждающей площадки насыпи (БОН)

В условиях сильного снегопереноса с основной площадки снег сдувается, а в зоне откосов насыпи и прилегающей к насыпи территории скапливаются большие снежные отложения, уклоны которых в регионах I, II, III приняты соответственно 1:10, 1:7, 1:5.

В месте снежных отложений мерзлота растепляется или деградирует вообще. Одной из мер по сохранению мерзлоты является устройство боковой откосной охлаждающей площадки насыпи, сущность которой сводится к устройству части откоса насыпи с уклоном, равным уклону снежных отложений. На этой части откоса снежные отложения отсутствуют, и в зимний период через поверхность в насыпь поступает холод.

На рис. 3.1 представлена принципиальная схема откосной охлаждающей площадки (БОН). В качестве примера принята насыпь высотой 6,0 м.

На рис. 3.1,а представлена схема обычной насыпи без охлаждающей площадки. В этом случае снежные отложения 7 приводят к деградации мерзлоты в зоне откосов и прилегающей территории и к резкому повышению температуры грунта в зоне непосредственно под основной площадкой.

На рис. 3.1,б представлена схема насыпи с применением БОН, которая выполнена с помощью перелома поверхности откоса. При этом верхняя часть откоса выполнена с тем же уклоном, который в рассматриваемом регионе имеют снежные отложения. В данном случае уклон снежных отложений принят для региона III.

Применение БОН резко увеличивает площадь поверхности, оголённой от снега, что соответствует увеличению степени охлаждения в зимнее время. Однако применение теплоизоляции в зоне откосов и прилегающей к подошве откосов территории существенно улучшает температурный режим. Недостатком данной конструкции БОН является увеличение крутизны нижней части откоса, что для ряда местных условий может оказаться недопустимым. Тогда крутизну можно уменьшить, что, однако, приведёт к увеличению объёмов грунта.

На рис. 3.1,в БОН выполнена с использованием габионов, с помощью которых сформирована стенка 9. Это конструкция позволяет существенно сократить объём грунтов.

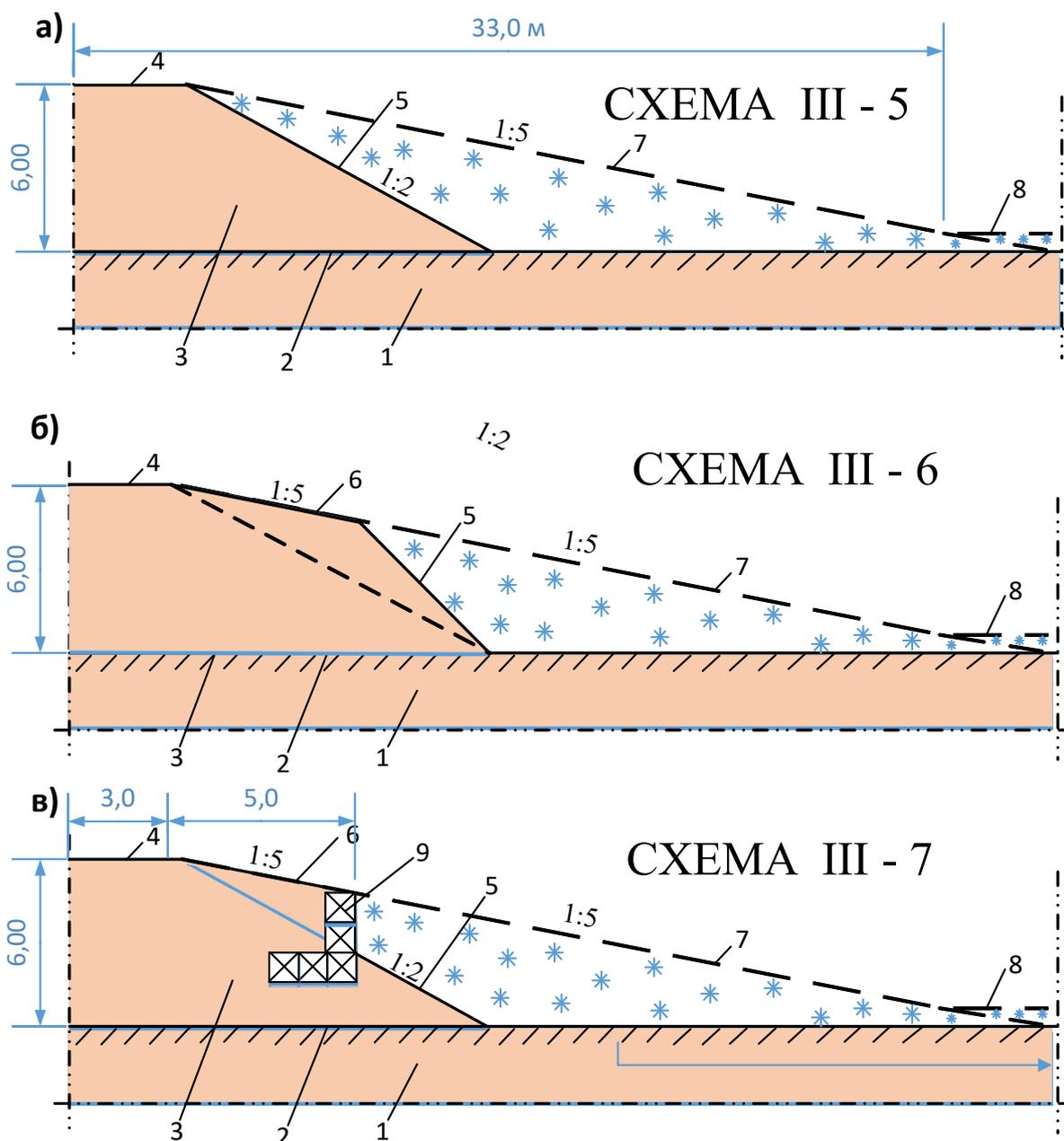


Рисунок 3.1 - Принципиальные схемы отдельной охлаждающей площадки насыпи (БОН): а – без применения БОН, б – создание БОН путём перелома поверхности откоса, в - создание БОН путём применения стенки из габионов; 1 – грунты основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – основная площадка, 5 – откос насыпи, 6 – БОН, 7,8 – поверхность снежных отложений соответственно в зоне насыпи и на ненарушенной территории, 9 – стенка из габионов

Эффективность охлаждающих площадок (БОН) может быть существенно повышена, если они применяются в системе с другими мероприятиями. Это, прежде всего, теплоизоляция. Другим мероприятием является диод (когда габион заполняется не скальным грунтом, а сортированным камнем). При высоких среднегодовых температурах воздуха существенная эффективность достигается применением глубинных систем (термопор, термостабилизаторов).

Важной особенностью площадки БОН является то, что габионы стенки 9 могут заполняться местным грунтом, поскольку использование габионов позволяет считать грунт армированным.

3.2. Особенности температурного режима грунтов основания и тела насыпи при применении БОН

Рассмотрим высокую насыпь (6,0 м), как наиболее показательную для изучаемого вопроса, расположенную в регионе III. На примере этой насыпи рассмотрим последовательность подбора конструктивного решения насыпи применительно к низкой среднегодовой температуре воздуха (-9,0 °С). Расчётная температура принята с учётом солнечной радиации и глобального потепления (табл. 1.4).

На рис. 3.2,а представлено расчётное температурное поле (т.е. температурное поле на момент окончания тёплого периода в установившемся состоянии) для насыпи обычно применяемого поперечного сечения. Никаких мероприятий по охлаждению не предусмотрено. Из рисунка видно, что несмотря на низкие отрицательные температуры воздуха, под снежными отложениями на откосах глубина сезонного протаивания превышает 3,0 м, а под подошвой откоса глубина многолетнего протаивания достигает 12,0 м. Такое температурное состояние при наличии в основании высокольдистых грунтов или погребённых льдов может привести к большим просадкам и, как следствие, сдвигу откосной части насыпи вниз, обводнению прилегающей территорией и т.п.

На рис. 3.2,б представлено расчётное температурное поле для того же поперечного сечения насыпи, но у подошвы откоса насыпи уложена теплоизоляция в виде пенополистирола толщиной 15,0 см. Целью данного технического решения было объединить два источника благоприятного теплового влияния - основную площадку насыпи, как источник интенсивного теплового влияния, и зону подошвы откоса насыпи с теплоизоляцией, как источник инерционного теплового влияния. При этом ставилась задача - миновать укладку теплоизоляции на крутом откосе, как трудоёмкого процесса.

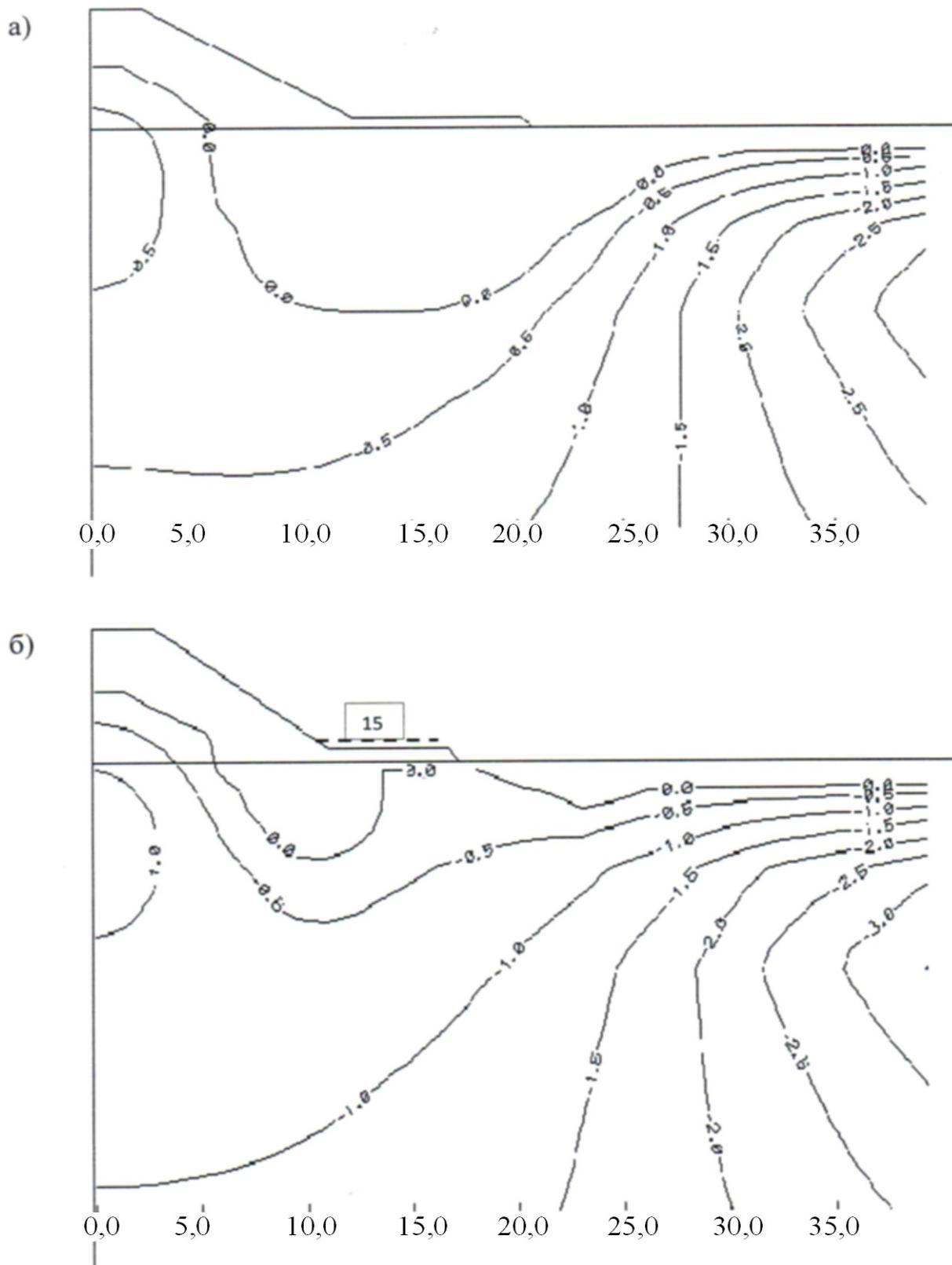


Рисунок 3.2 – Температурное поле на момент окончания тёплого периода года через 50,0 лет после весенней отсыпки, схема П-5, высота насыпи 6,0 м, среднегодовая температура воздуха - 9 °С, а – никаких мероприятий по охлаждению не предусмотрено, б – уложен пенополистирол 15,0 см у подошвы откоса

Суммарный эффект от применения двух источников оказался выше суммы эффектов от отдельных источников: под основной площадкой существенно понизились температура грунтов (см. рис. 3.2,а и рис. 3.2,б), хотя никаких изменений на основной площадке сделано не было. Однако под подошвой откоса имеет место глубокое многолетнее протаивание, хотя значительно уменьшилось по сравнению с рис. 3.2,а, что в случае плохих грунтов может привести к сдвигу откосной части.

На рис. 3.3,а представлено расчётное поле при наличии боковой откосной площадки (БОН) шириной 5,0 м. Температура грунта в центре резко понизилось по сравнению с обычной насыпью (рис.3.2,а). Однако под подошвой откоса имеет место глубокое протаивание (свыше 6.0 м), а под основной площадкой имеет место глубокое сезонное протаивание, что может привести к пучению. При этом такие низкие температуры в центре насыпи не требуются. Поэтому уменьшаем ширину БОН до 2,5 м, в зоне основной площадки и БОН укладываем пенополистирол 5.0 см, а у подошвы насыпи укладываем пенополистирол 15,0 см (рис. 3.3,б). В результате формируется расчётное температурное поле, при котором устойчивость насыпи может быть обеспечена. При этом удалось избежать устройства теплоизоляции на откосах насыпи.

На рис. 3.4 дано сопоставление расчётных температурных полей для такой же высоты насыпи (6,0 м), но для значительно более высоких температур воздуха (-4,6 °С): а - без применения мероприятий по охлаждению, б - с применением сочетания БОН и теплоизоляции, регион III.

На рисунке наглядно представлено, что без мероприятий идёт мощное протаивание обширной зоны как непосредственно под самой насыпью, так и по всей зоне снежных отложений. Применение указанных выше мероприятий формирует надёжное температурное поле в пределах самой насыпи. В связи с малой глубиной сезонного протаивания на откосе возможна устойчивость откосной части насыпи, несмотря на наличие глубокого протаивания рядом с подошвой откоса насыпи. Если же грунты в основании высокольдистые, то целесообразно применение отдельных охлаждающих площадок, которые будут рассмотрены в главе 4. Значительный эффект также может быть получен применением в зоне площадок габионов-диодов.

При более высокой среднегодовой температуре воздуха поверхностное охлаждение может оказаться недостаточным, его целесообразно использовать в системе с глубинным охлаждением (термоопорами или термостабилизаторами).

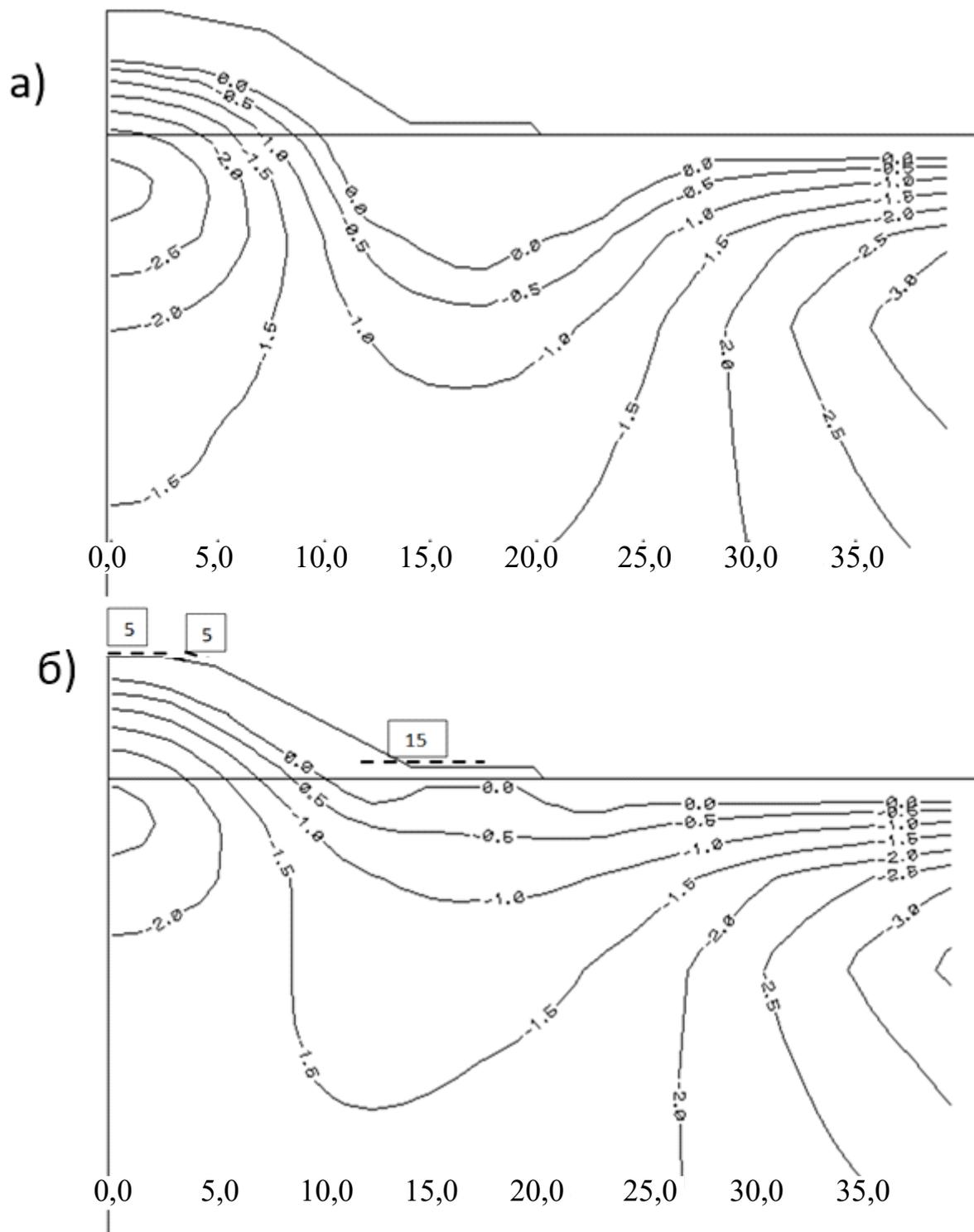


Рисунок 3.3 – Температурное поле на момент окончания тёплого периода года через 50,0 лет после весенней отсыпки, схема Ш-6, высота насыпи 6,0 м, среднегодовая температура воздуха -9°C : а – мероприятия по охлаждению: БОН шириной 5,0 м, б – мероприятия: БОН шириной 2,5 м, пенополистирол 5,0 см в зонах основной площадки и БОН, пенополистирол 15,0 у подошвы откоса

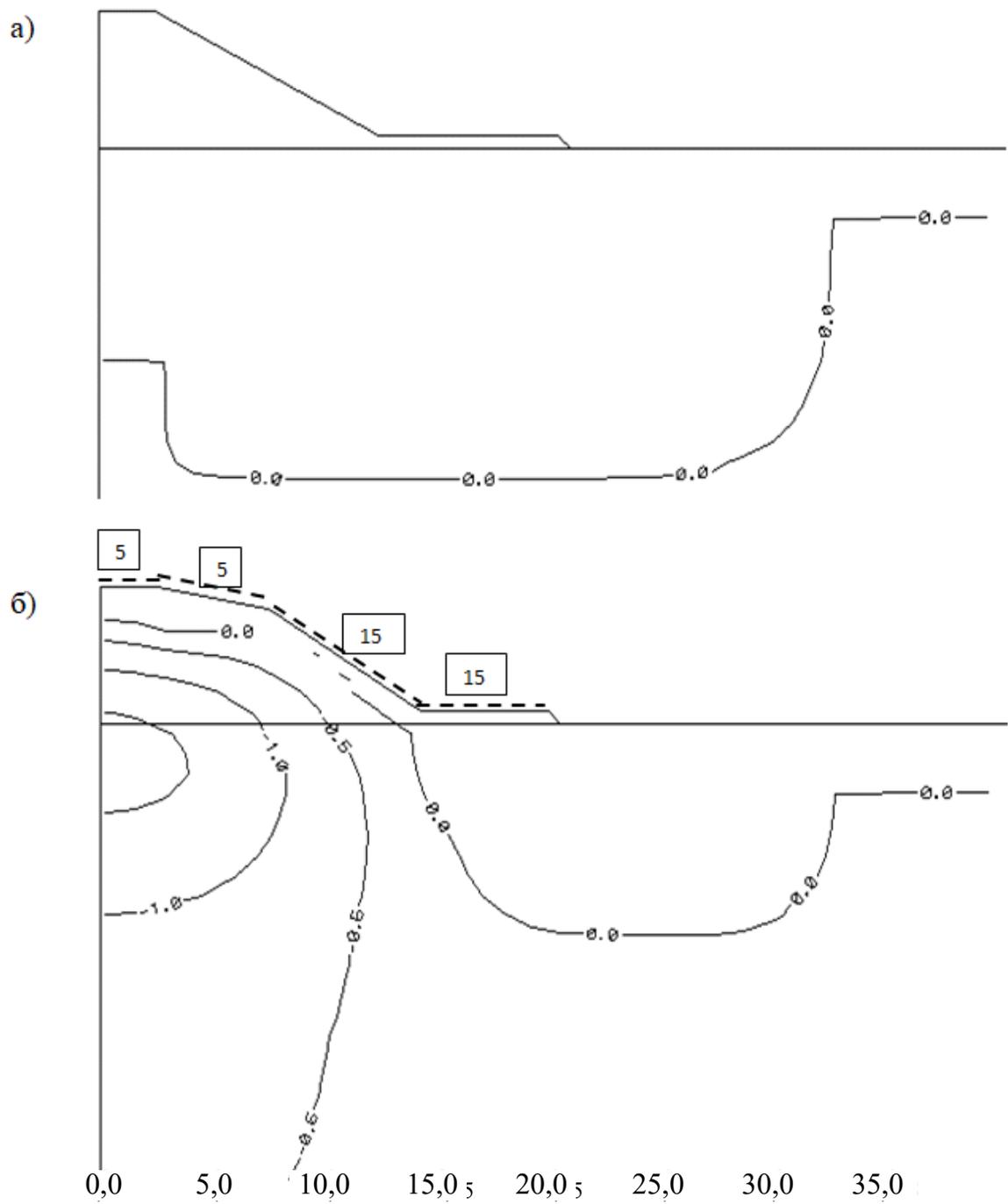


Рисунок 3.4 - Сопоставление расчётных температурных полей для насыпи высотой 6,0 м с применением сочетания БОН, ОКП и теплоизоляции: а – без применения мероприятий по охлаждению (схема Ш-5), б – с применением сочетания БОН и теплоизоляции (схема Ш-6), среднегодовая температура воздуха $-4,6^{\circ}\text{C}$ (район Салехарда)

4. ОТДЕЛЬНЫЕ ОХЛАЖДАЮЩИЕ ПЛОЩАДКИ НАСЫПИ В УСЛОВИЯХ СИЛЬНОГО СНЕГОПЕРЕНОСА

4.1. Принципиальные схемы отдельных охлаждающих площадок насыпи

В разделе 3.1 уже было отмечено, что в условиях сильного снегопереноса с основной площадки насыпи снег сдувается, а в зоне откосов насыпи и прилегающей к подошве откосов территории скапливаются большие снежные отложения. В качестве меры по снижению неблагоприятного теплового влияния снежных отложений предложена боковая откосная охлаждающая площадка насыпи (БОН). Принципиальные схемы площадок приведены на рис. 3.1.

Однако площадки БОН снижают вредные тепловые влияния снегоотложений, расположенных в основном в пределах откосов насыпи. Но снежные отложения расположены не только в пределах откосов насыпи, но далеко за её пределами. Например, для насыпи высотой 6,0 м в регионе I при уклоне 1:10 ширина полосы снежных отложений составляет 60,0 м. И в пределах этой ширины будет иметь место глубокое протаивание, которое при наличии высокольдистых грунтов и погребённых льдов опасно.

На рис. 4.1 приведены принципиальные схемы отдельных охлаждающих площадок. В качестве примера принята насыпь высотой 6,0 м. При устройстве отдельной охлаждающей площадки преследуются две цели:

- 1) улучшить температурное состояние грунтов основания и тела насыпи;
- 2) оградить прилегающую к насыпи зону снежных отложений от недопустимых протаиваний грунтов.

Минимальные объёмы грунтов для сооружения площадки обеспечиваются при сооружении площадки в конце снежных отложений (рис. 4.1,а). Эта площадка может быть названа так: «отдельная концевая охлаждающая площадка насыпи» (ОКП). Площадка ОКП может обеспечивать достижение обеих целей, указанных выше, но при определённых условиях: в регионе III, где откос снежных отложений принят 1:5, или в регионах I и II в пределах насыпи на поперечном склоне местности, с верховой стороны. Эта особенность площадки объясняется тем, что она для обеспечения теплового влияния на насыпь не может находиться от неё за пределами допустимого расстояния. Площадка может быть также использована в регионах I и II при небольшой высоте насыпи.

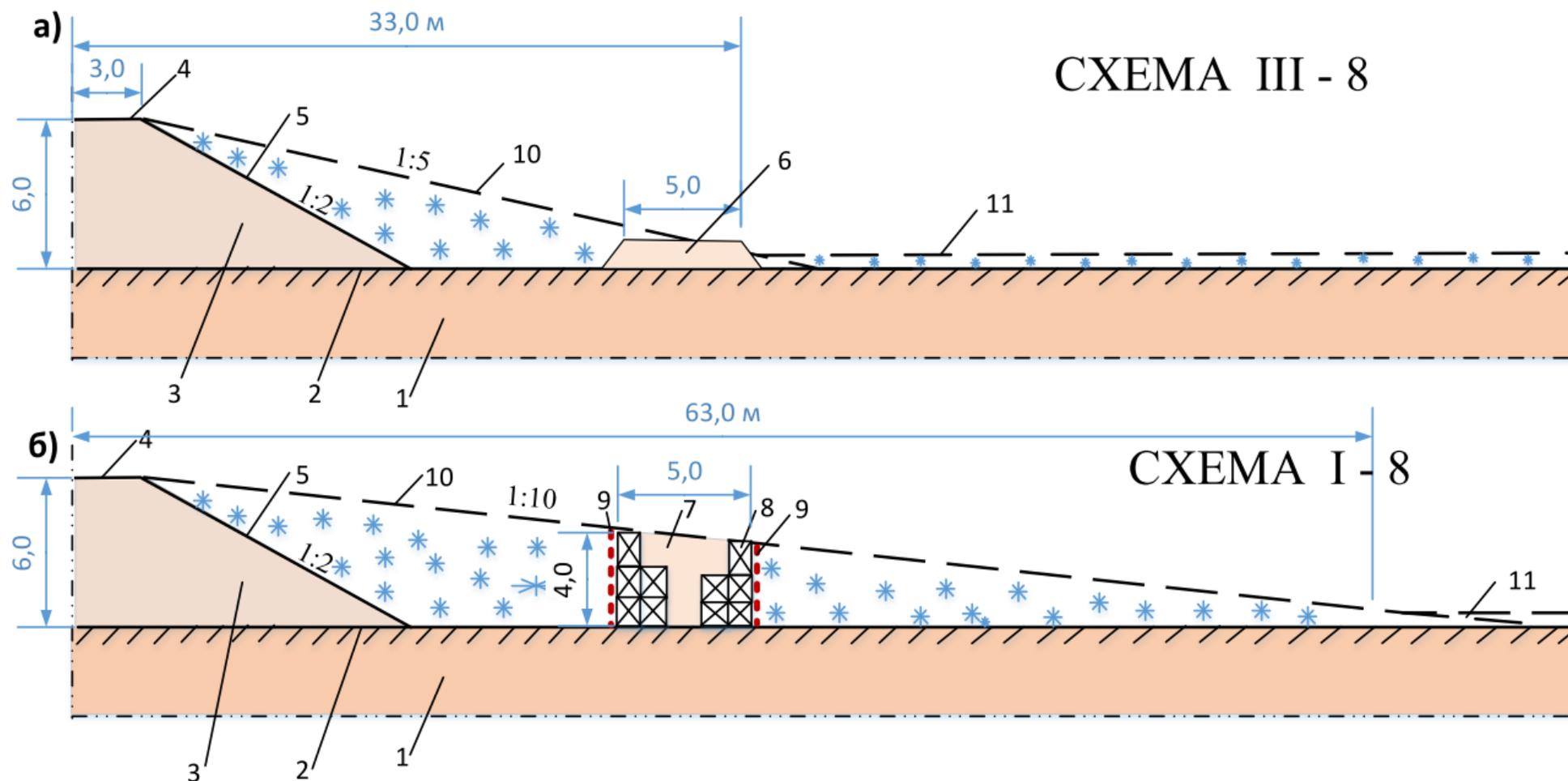


Рисунок 4.1 - Принципиальные схемы отдельной охлаждающей площадки насыпи: а – отдельная концевая охлаждающая площадка насыпи (ОКП), б – отдельная промежуточная охлаждающая площадка насыпи (ОПП), 1 – грунты основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – основная площадка насыпи, 5 – откос насыпи, 6 – ОКП, 7 – ОПП, 8 - стенка из габионов, 9 – теплоизоляция, 10, 11 – откос снежных отложений соответственно в зоне насыпи и на ненарушенной территории

На рис. 4.1,б представлена принципиальная схема площадки, которая может быть эффективно применена при большой ширине снежных отложений. Эта площадка может быть обозначена как «отдельная промежуточная охлаждающая площадка насыпи» (ОПП). Эта площадка позволяет, во-первых, объединить охлаждающие зоны самой площадки и основной площадки насыпи, а во-вторых, зона снегоотложений разбивается на две части, в которых легче обеспечить требуемый температурный режим.

Особенностью ОПП является то, что по бокам должна быть устроена теплоизоляция, иначе её охлаждающий эффект может быть уничтожен за счёт летнего теплового воздействия.

В ряде случаев площадка БОН, ОКП, ОПП могут быть устроены одновременно (рис.4.2). Важной особенностью площадок является возможность их устройства не из кондиционных, а из местных грунтов. Все площадки могут быть выполнены в виде либо элемента насыпи (БОН), либо в виде самой насыпи (ОКП и ОПП). Существенное упрощение использования местных грунтов достигается при применении габионов.

4.2. Особенности температурного режима грунтов основания и тела насыпи и прилегающей территории при применении отдельных охлаждающих площадок

В развитие положений, изложенных в разделе 3.2, продолжаем рассмотрение насыпи высотой 6,0 м, как наиболее показательной для изучаемого вопроса.

На рис. 4.3,а представлено расчётное температурное поле для того же случая, что и на рис. 3.4,б, но добавлена отдельная концевая охлаждающая площадка насыпи (ОКП). Поскольку рассматриваются условия региона III (откос снежных отложений 1:5), ОКП резко улучшила температурное состояние в прилегающей к насыпи территории (талик исчез полностью). Кроме того, на 0,5°C понизилась температура в центре, непосредственно под телом насыпи. Такое положение позволяет частично (в верхней части откоса) отказаться от теплоизоляции на откосе. На рис. 4.3,б приведено расчётное температурное поле для этого случая. Уменьшение высоты зоны укладки теплоизоляции на откосе путём укладки её только в нижней части откоса существенно облегчает конструкцию и технологию укладки.

Температурное состояние существенно ухудшается, когда мы имеем дело с условиями региона I: снежные отложения приняты 1:10, что резко увеличивает протяжённость талой зоны рядом с насыпью. На рис. 4.1,б и рис. 4.2 представлены различные варианты устройства насыпей в регионе I с отдельными охлаждающими площадками.

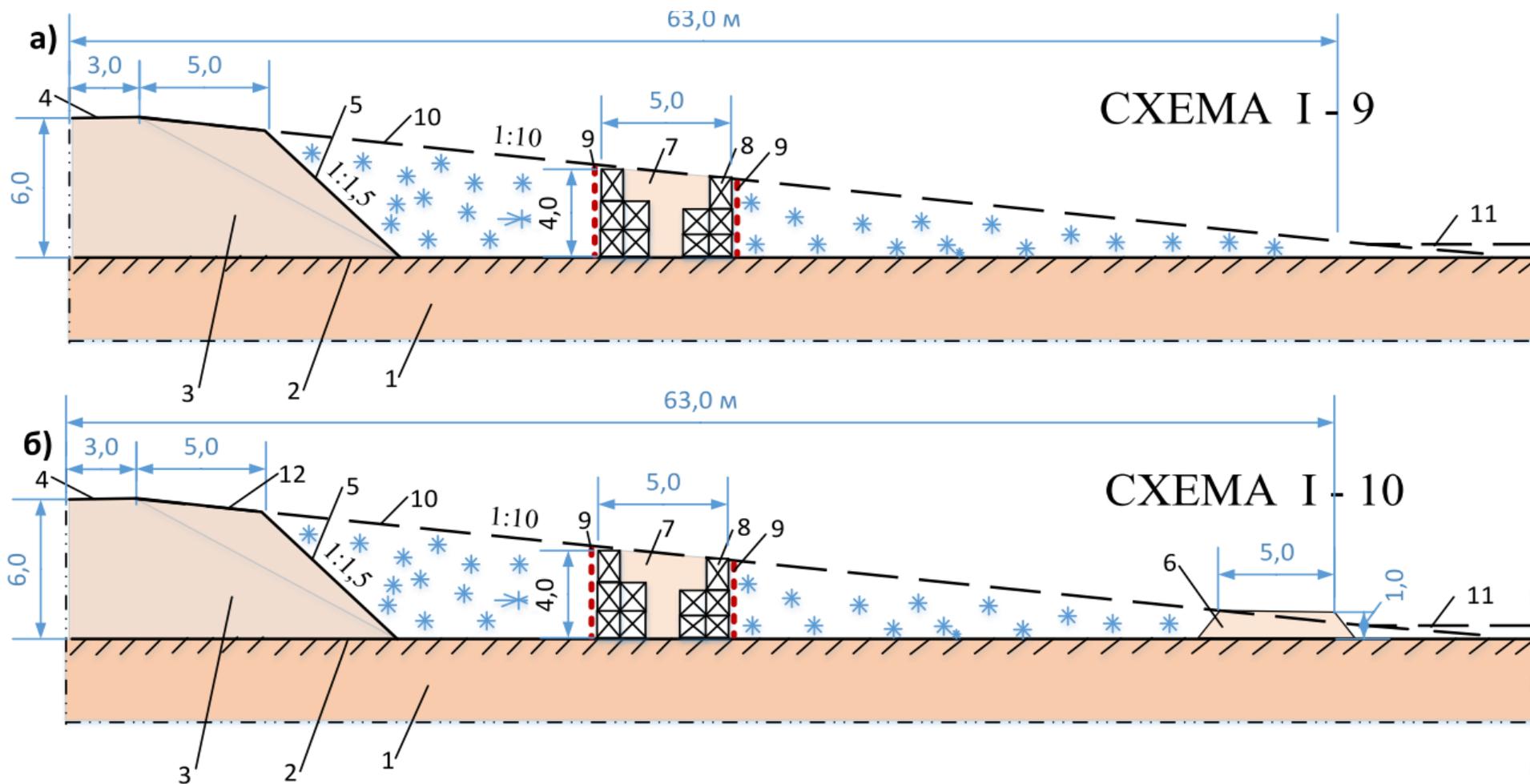


Рисунок 4.2 - Принципиальные схемы насыпи с применением комплекса охлаждающих площадок: а – применение БОН и ОПП, б – применение БОН, ОПП, ОКП: 1 – грунты основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – основная площадка насыпи, 5 – откос насыпи, 6 – ОКП, 7 – ОПП, 8 - стенка из габионов, 9 – теплоизоляция, 10, 11 – откос снежных отложений соответственно в зоне насыпи и на ненарушенной территории, 12 – БОН

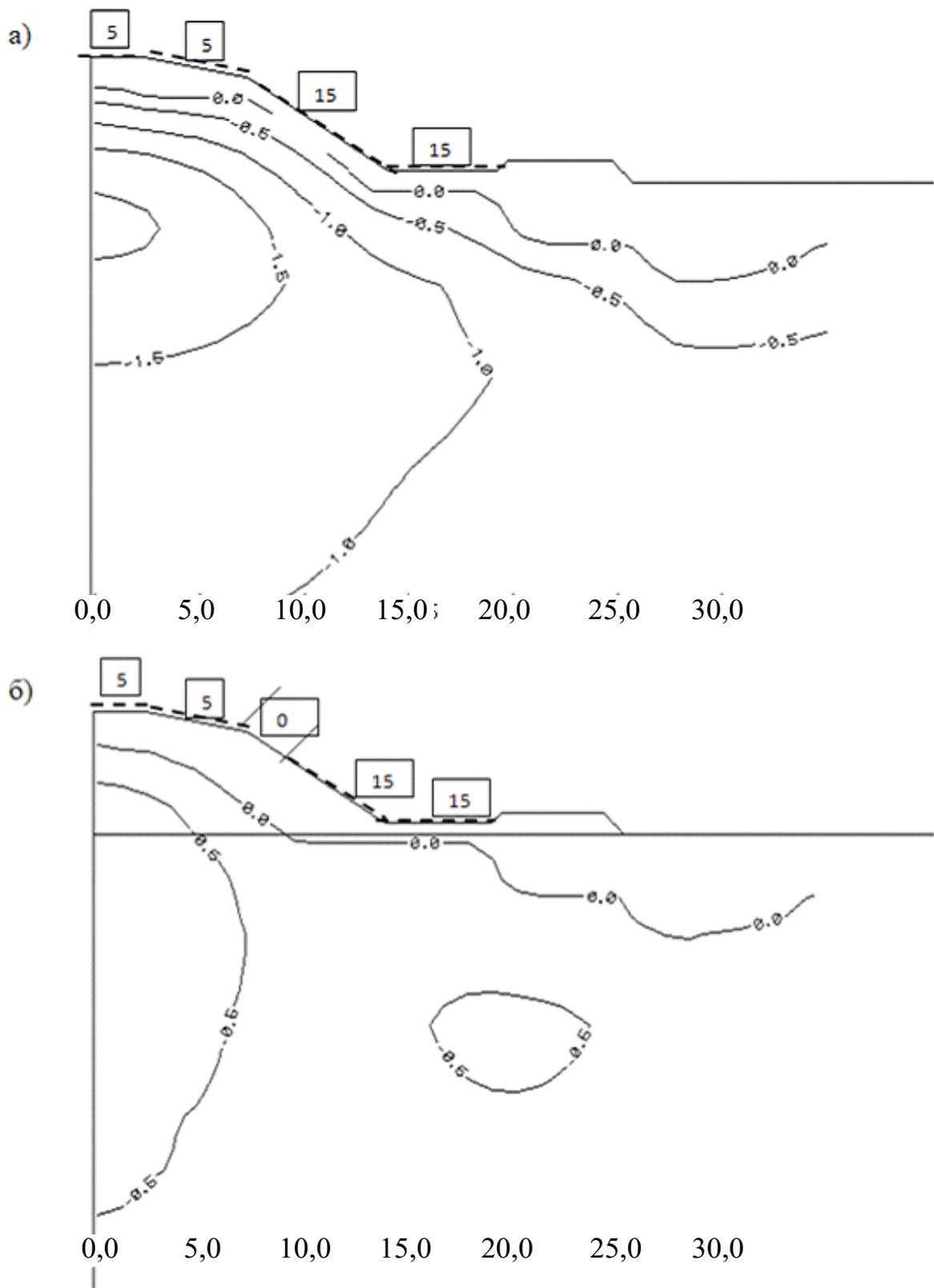


Рисунок 4.3 – Сопоставление расчётных температурных полей для насыпи высотой 6,0 м (схема III-8) с применением сочетания БОН, ОКП и теплоизоляции: а, б – соответственно с теплоизоляцией и частично без неё на откосе, среднегодовая температура воздуха $-4,6^{\circ}\text{C}$, регион III

На рис. 4.4 и 4.5 наглядно представлена динамика изменения расчётного температурного поля при последовательном применении охлаждающих площадок различного вида в сочетании с теплоизоляцией. При этом приняты следующие основные данные: высота насыпи 6,0 м, регион I, среднегодовая температура воздуха минус 4 °С.

На рис. 4.4,а представлено расчётное температурное поле для обычной насыпи без применения охлаждающих площадок и теплоизоляции. И в зоне самой насыпи и в пределах снежных отложений имеет место глубокое протаивание, достигающее примерно 10 м за 50 лет. В дальнейшем протаивание медленно увеличивается.

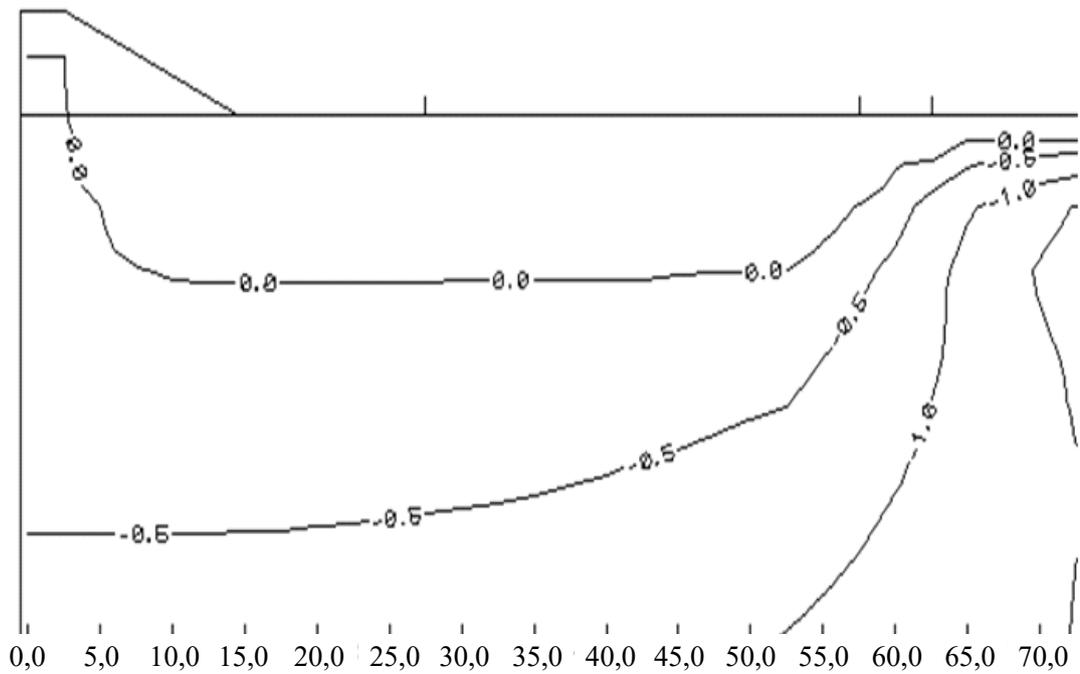
На рис. 4.4,б представлено расчётное температурное поле с применением боковой откосной охлаждающей площадки (БОН) в сочетании с теплоизоляцией на поверхности и в прилегающей к подошве откосе зоне (размеры в сантиметрах указаны на рисунке). В результате температурное поле резко улучшилось в зоне насыпи, но остаётся неудовлетворительным в зоне снежных отложений.

На рис. 4.5,а представлено расчётное температурное поле при применении обоих видов отдельных охлаждающих площадок (ОКП и ОПП). В зоне снежных отложений произошло резкое улучшение температурных полей. Однако промежуточная охлаждающая площадка (ОПП) находится в зоне резкого наклона нулевой изотермы в грунтах, поэтому деформации будут несимметричны, и возможно разрушение в дальнейшем промежуточной охлаждающей площадки.

На рис. 4.5,б показано расчётное температурное поле, когда с правой стороны ОПП уложена теплоизоляция 15 см. Опасность неравномерной осадки ОПП исключена.

В результате применения указанных выше мероприятий талик сведён к минимуму. При необходимости он может быть ликвидирован полностью устройством ещё одной ОПП или укладкой теплоизоляции.

а)



б)

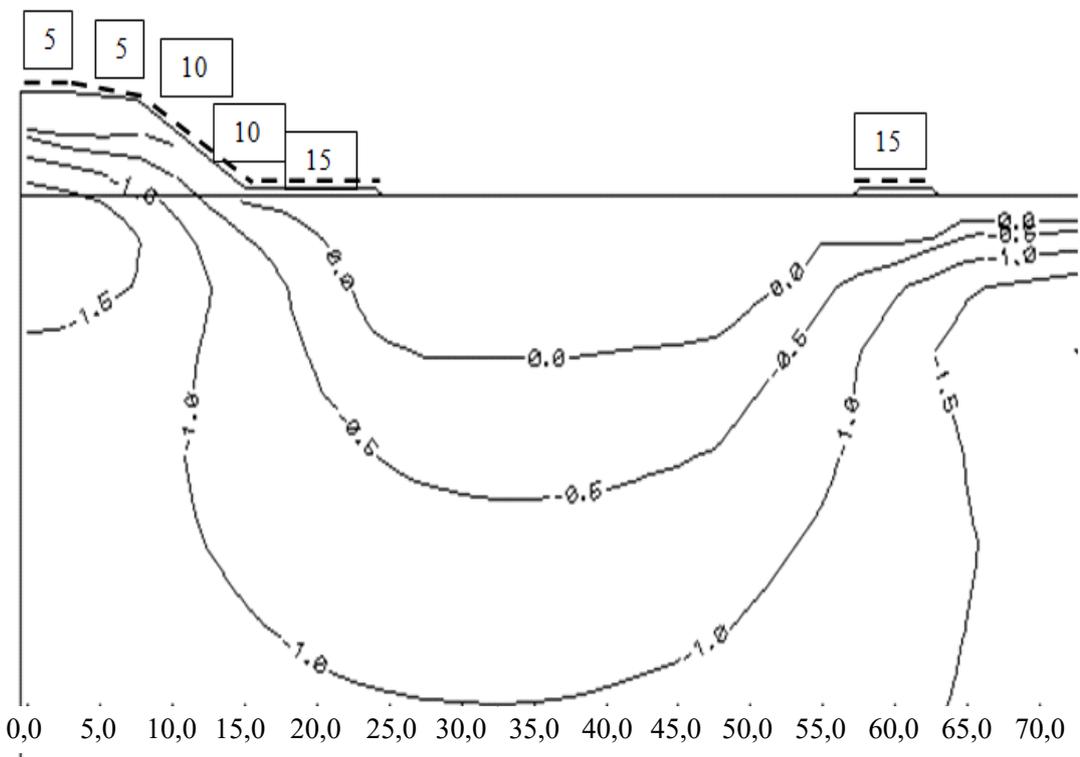


Рисунок 4.4 – Сопоставление расчётных температурных полей для насыпи высотой 6,0 м, среднегодовая температура воздуха $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, регион I: а, б – соответственно схема I-6 без теплоизоляции и схема I-7 с применением теплоизоляций

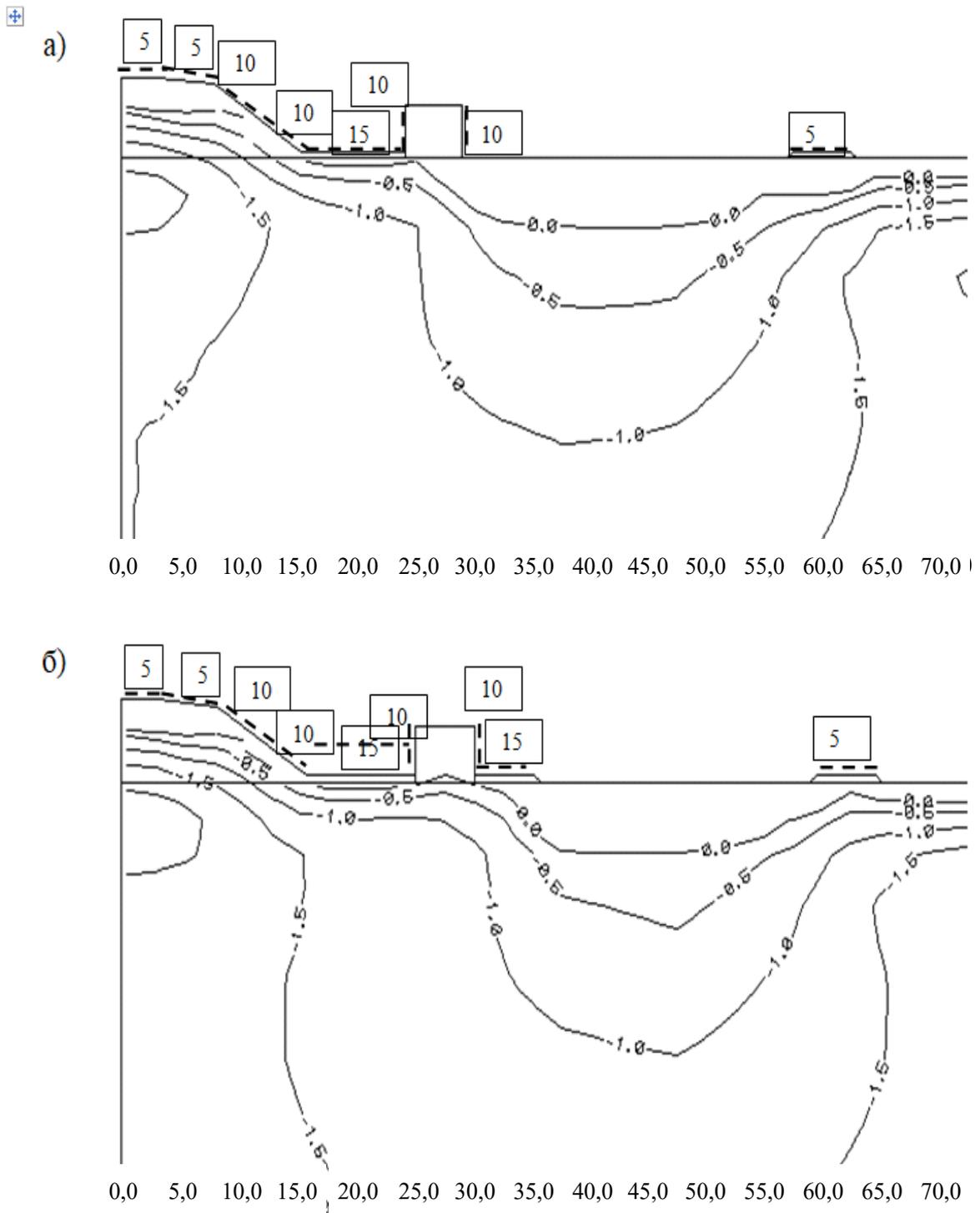


Рисунок 4.5 – Сопоставление расчётных температурных полей для насыпи высотой 6,0 м, среднегодовая температура воздуха -4.0°C , регион I (схема I-7): а, б – соответственно без теплоизоляции за пределами «вала» и с применением теплоизоляции 15,0 см за пределами «вала».

ЧАСТЬ II

ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

5. НАСЫПИ

5.1. Общая характеристика

Итоги исследований и рекомендации по насыпям высотой от 2 до 6 м изложены в работе «Рекомендации по применению теплоизоляции для стабилизации температурного режима грунтов основания и тела дорожных насыпей в зоне вечной мерзлоты» [1]. Указанная работа является первым томом общих рекомендаций по транспортным сооружениям на вечной мерзлоте.

В данной работе в развитие изложенных в указанных Рекомендациях положений для насыпей рассматривается дополнительно:

- сопоставление откосов ступенчатых и пологих для условий малого снегопереноса (глава 2),

- исследование различных видов охлаждающих площадок для регионов с сильным снегопереносом (главы 3 и 4).

Кроме того, впервые рассматриваются насыпи высотой до 2 м (разделы 5.2 и 5.3).

5.2. Насыпи высотой до 2,0 м в регионах с малым снегопереносом

На рис. 5.1 представлены схемы насыпи шириной «b» и высотой 0,5 м (рис. 5.1,а) и высотой 1,5 м (рис. 5.1,б).

При отсутствии снегопереноса или малом снегопереносе снег с насыпи расчищается и укладывается рядом (зона «с» на рис. 5.1). Кроме того, рядом с зоной «с» может быть расположена зона «d» с нарушенным растительным покровом в результате антропогенной деятельности. Таким образом, выделяется четыре зоны граничных условий: «b», «с», «d», «e», где «e» - зона с ненарушенными природными условиями.

В зонах «b» и «с» намечается укладка теплоизоляции: в зоне «b» для ликвидации сезонного протаивания грунтов основания, которые зачастую имеют высокую влажность и при оттаивании деформируются, а в зоне «с» - для компенсации вредного теплового влияния.

Для расчётов была принята схема рис. 5.1,а, как наиболее неблагоприятная, поскольку грунты основания ближе к поверхности проезжей части, и потому требуется меньшая глубина сезонного протаивания.

При отсутствии снегопереноса охлаждающие оголённые от снега поверхности могут быть сформированы либо за счёт расчистки снега, что практически осуществимо только в пределах проезжей части, либо за счёт создания вертикальных поверхностей, которые автоматически оголяются от снега. На рис. 5.2 представлены варианты боковой поверхностной охлаждающей площадки (БПН), которая содержит вертикальную поверхность, выполненную из габионов.

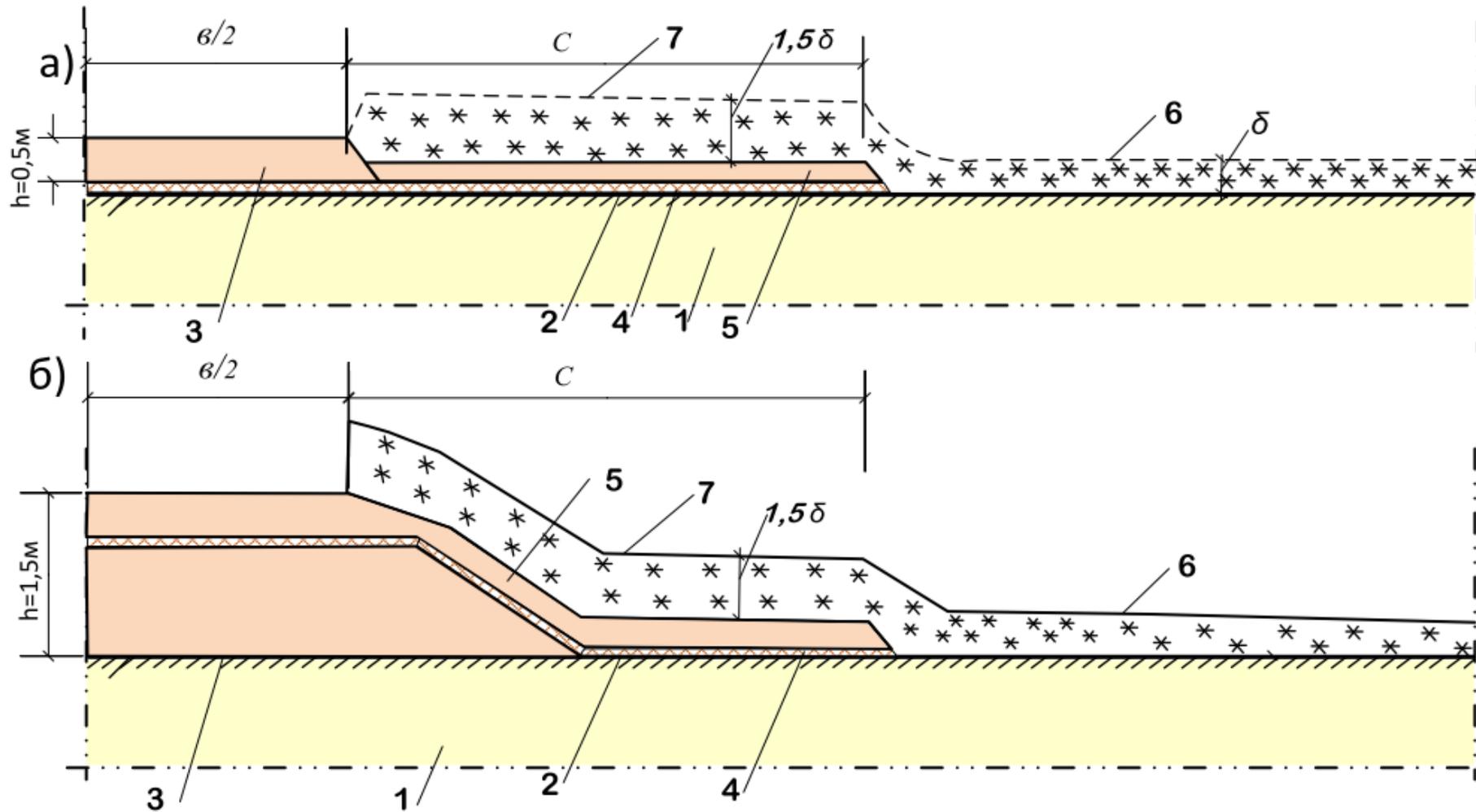


Рисунок 5.1 - Схемы насыпей высотой 0,5 – 1,5 м для условий малого снегопереноса: а, б – насыпь высотой соответственно 0,5 и 1,5 м, 1 - грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – теплоизоляция, 5 – защитный слой теплоизоляции, 6, 7 – поверхность снегоотложений соответственно в ненарушенной зоне и в пределах зоны теплозащиты

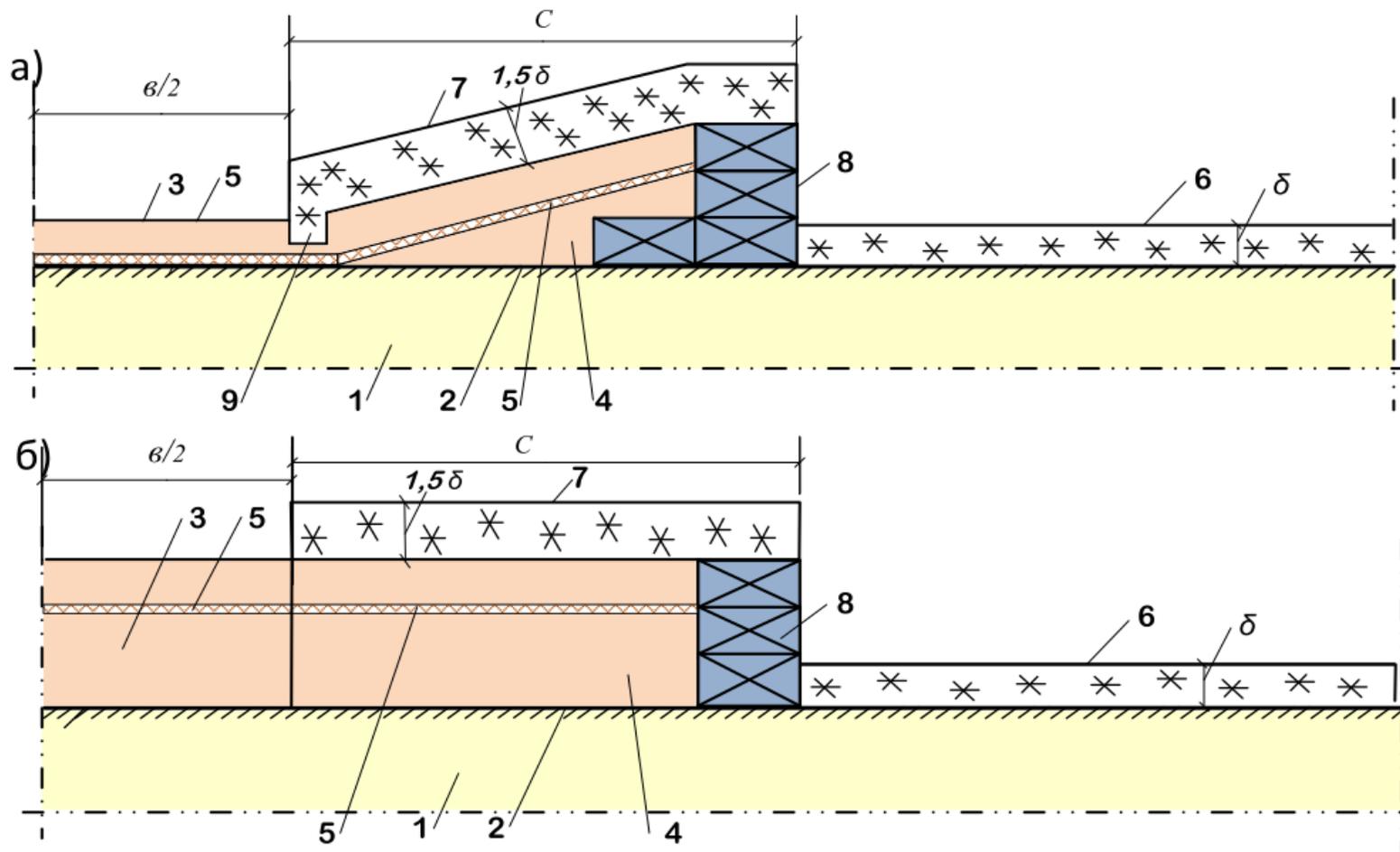
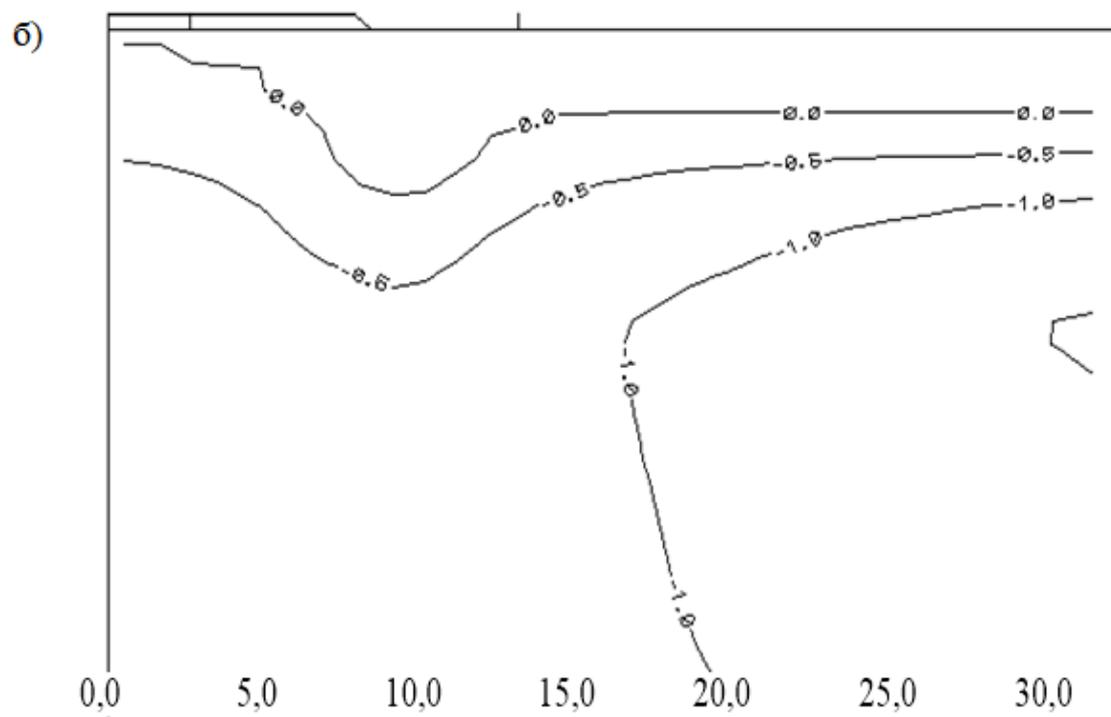
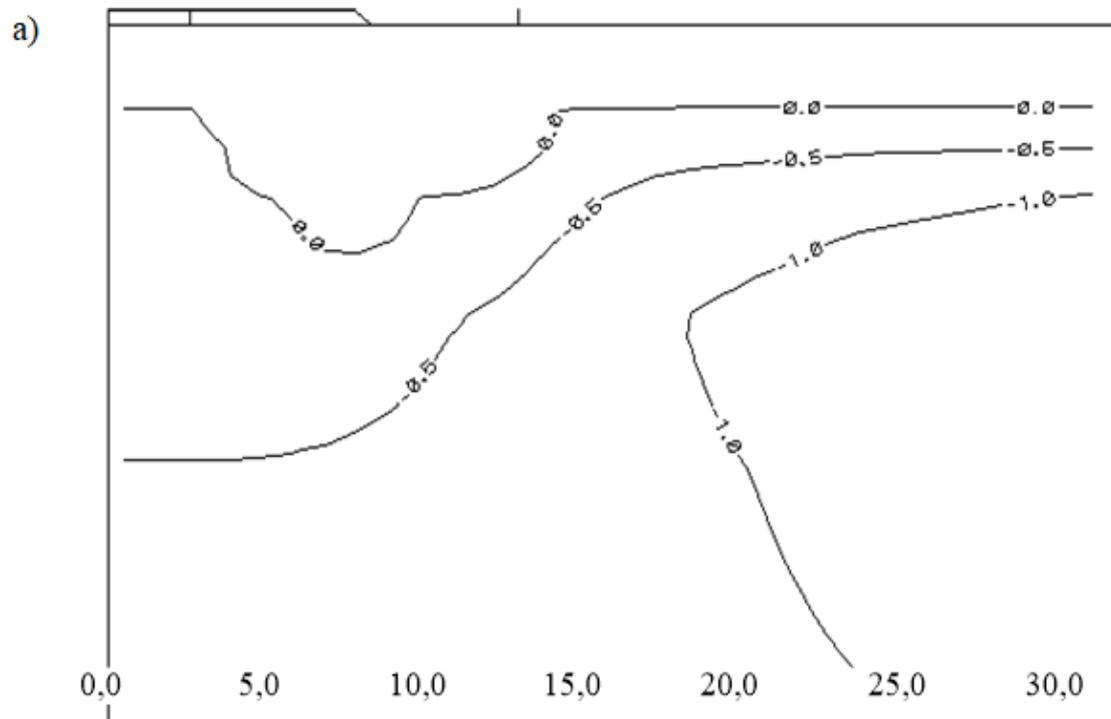


Рисунок 5.2 - Схемы насыпей высотой 0,5 – 1,5 м для условий малого снегопереноса: а, б – соответственно 0,5 и 1,5 м, 1 - грунт основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – тело насыпи, 4 – боковая поверхностная охлаждающая площадка насыпи (БПН), 5 – теплоизоляция, 6, 7 – поверхность снегоотложений соответственно в ненарушенной зоне и в пределах зоны «С», 8 – стенка из габионов, 9 - водоотводной кювет

На рис. 5.3 представлено сопоставление для ряда случаев расчётных температур полей (т.е. на момент окончания тёплого периода года через 50 лет после начала расчёта). Начальная температура грунтов принята минус 0,5 °С. Температура воздуха принята по табл. 1.4. Ширина «b/2» принята 2,5 м, ширина «с» - 5 м. Расчёт приведён для схемы рис. 5.1,а (взята правая половина сечения в связи с тепловой симметрией).

На рис. 5.3,а представлен случай, когда никакой теплоизоляция не предусмотрено. В результате под основной площадкой насыпи имеет место сезонное протаивание более 2,0 м, а в зоне «с» - талик глубиной более 7,0 м. Изотерма минус 0,5 °С уходит глубоко вниз, поэтому в зоне земполотна до глубины примерно 30,0 м расположены пластичномёрзлые деформируемые грунты.

На рис. 5.3,б представлен тот же случай, что и на рис. 5.3,а, но в зоне «b/2» уложена теплоизоляция 15 см пенополистирола, а в зоне «с» - 10 см. В результате в зоне «b/2» практически отсутствует талый слой, а изотерма минус 0,5 °С резко поднялась вверх по сравнению с рис. 5.3,а. В зоне «с» имеет место повышенное протаивание, но там отсутствует подвижная нагрузка. Случай рис. 5.3,б может быть принят для проекта.



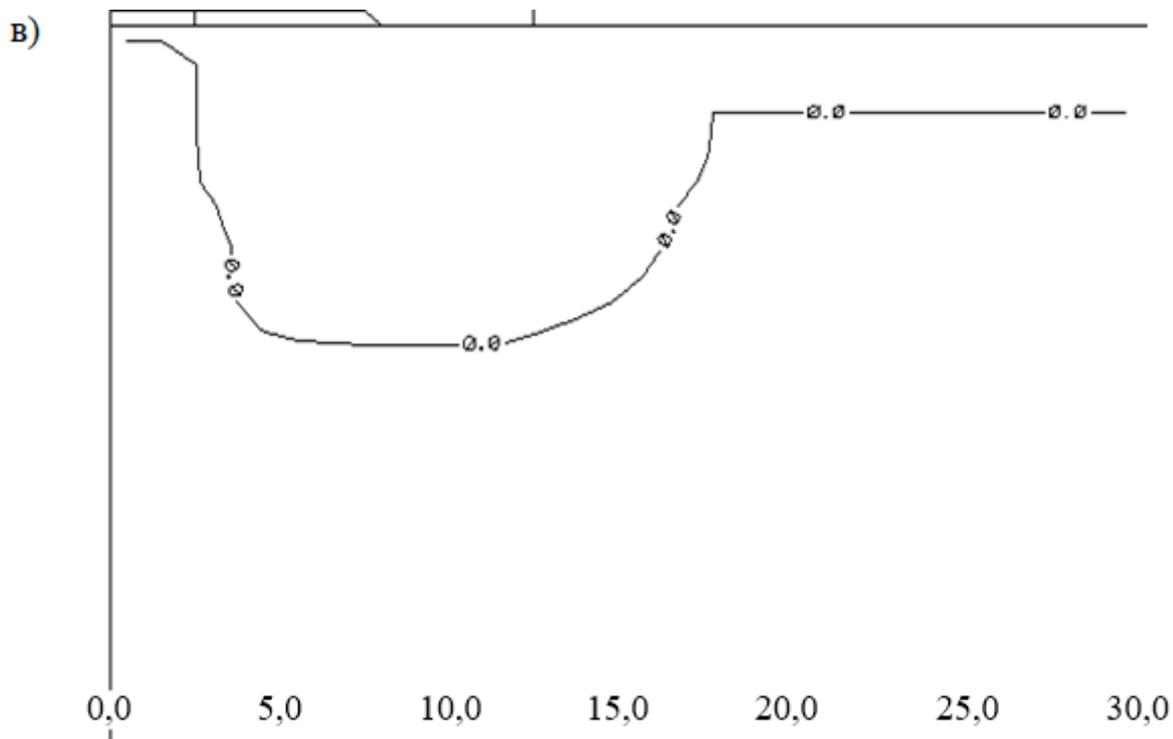


Рисунок 5.3 – Сопоставление расчётных температурных полей для насыпи высотой 0,5 м в регионе V: а – для среднегодовой температуры воздуха $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и без применения теплоизоляции, б – то же, но с применением теплоизоляции, в – то же, что и п. б, но для среднегодовой температуры $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 5.3,в приведён тот же случай, что и на рис. 5.3,б, но для температуры воздуха не минус $6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для температуры минус $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Как видно из рисунка, вся область грунтов оснований расположенная в зоне насыпи, находится либо в талом, либо в пластичномёрзлом состоянии. Для обеспечения надёжности сооружения необходимы дополнительные мероприятия по охлаждению.

На рис. 5.4 приведён точно такой же случай, что и на рис. 5.3, но ширина зоны «b/2» (рис. 5.1) принята не 2,5 м, а 4,5 м. Мы видим существенное улучшение температурного поля на рис.5.4,б и, следовательно, увеличение несущей способности грунтов. Что касается случая при температуре воздуха минус $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, то принципиального изменения не произошло, и нужны дополнительные мероприятия, например, глубинное охлаждение.

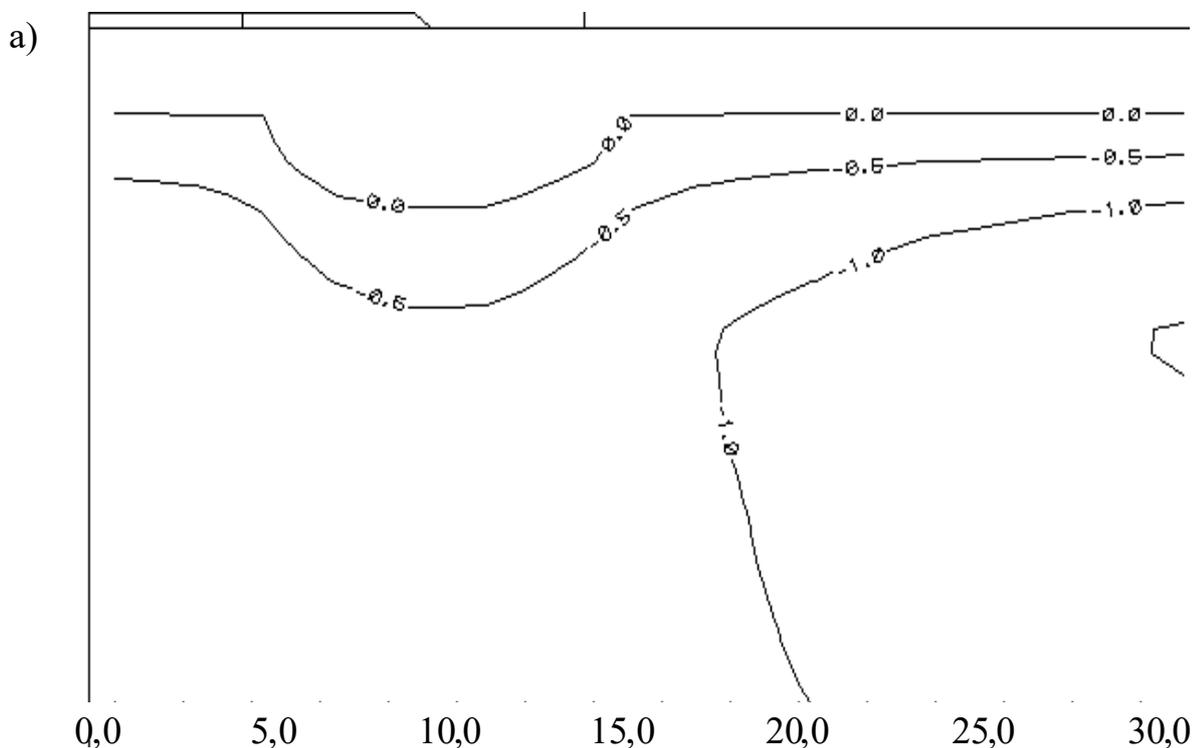
5.3. насыпи высотой до 2,0 м в регионах с сильным снегопереносом

На рис. 5.5 представлены схемы насыпи шириной «b» и высотой 0,5 м (рис. 5.5,а) и высотой 1,5 м (рис. 5.5,б).

В регионах с сильным снегопереносом снег с возвышенных мест сдувается, и эти места являются зоной охлаждения. В данном случае основная площадка насыпи и боковая поверхностная охлаждающая площадка (БПН) являются охлаждающими зонами. Изменением ширины БПН можно регулировать степень охлаждения грунтов основания.

Таким образом, выделяются 4 зоны граничных условий: «b», «c», «d», «e», где «b» - ширина основной площадки, «c» - ширина БПН, «d» - ширина зоны с нарушением растительного покрова в результате антропогенной деятельности, «e» - зона с ненарушенными природными условиями.

В зонах «b» и «c» намечается укладка теплоизоляции для ликвидации сезонного протаивания грунтов.



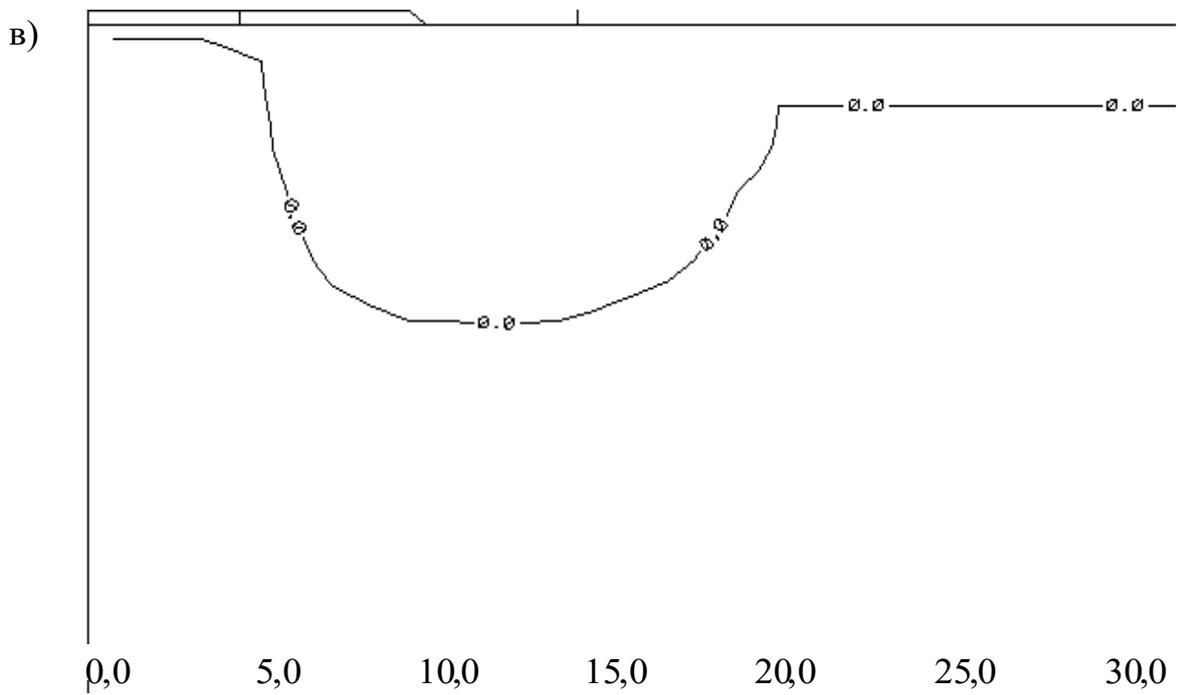
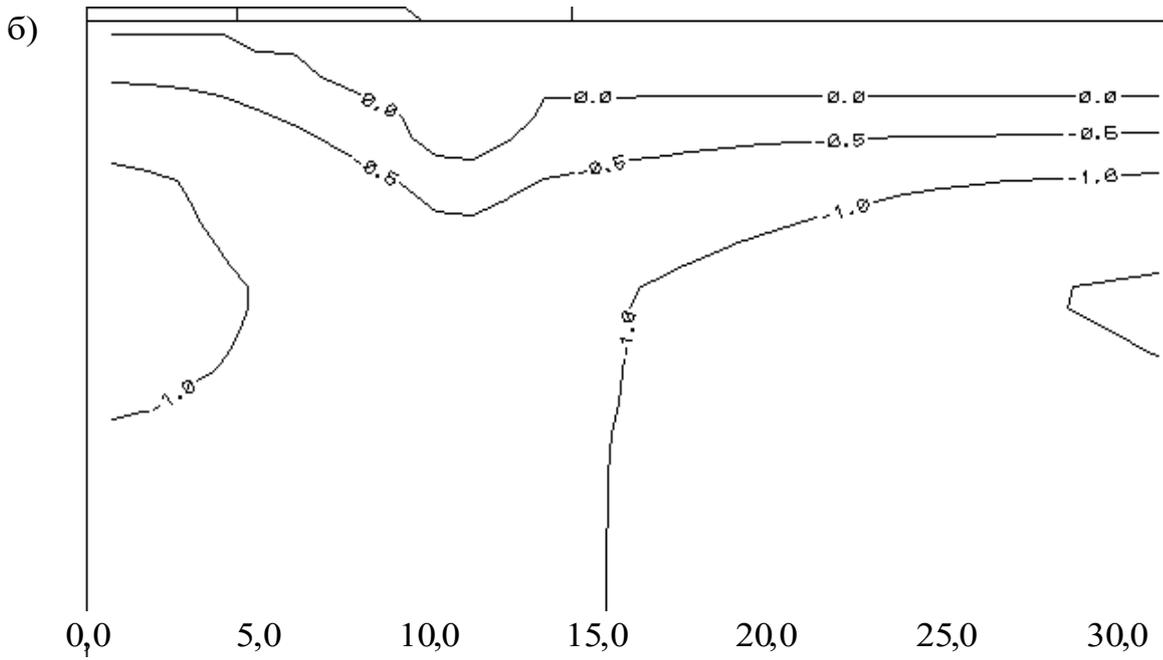


Рисунок 5.4 – Сопоставление расчётных температурных полей для насыпи высотой 0,5 м в регионе V: а – для среднегодовой температуры воздуха $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и без применения теплоизоляции, б – то же, но с применением теплоизоляции, в – то же, что и п. б, но для среднегодовой температуры $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

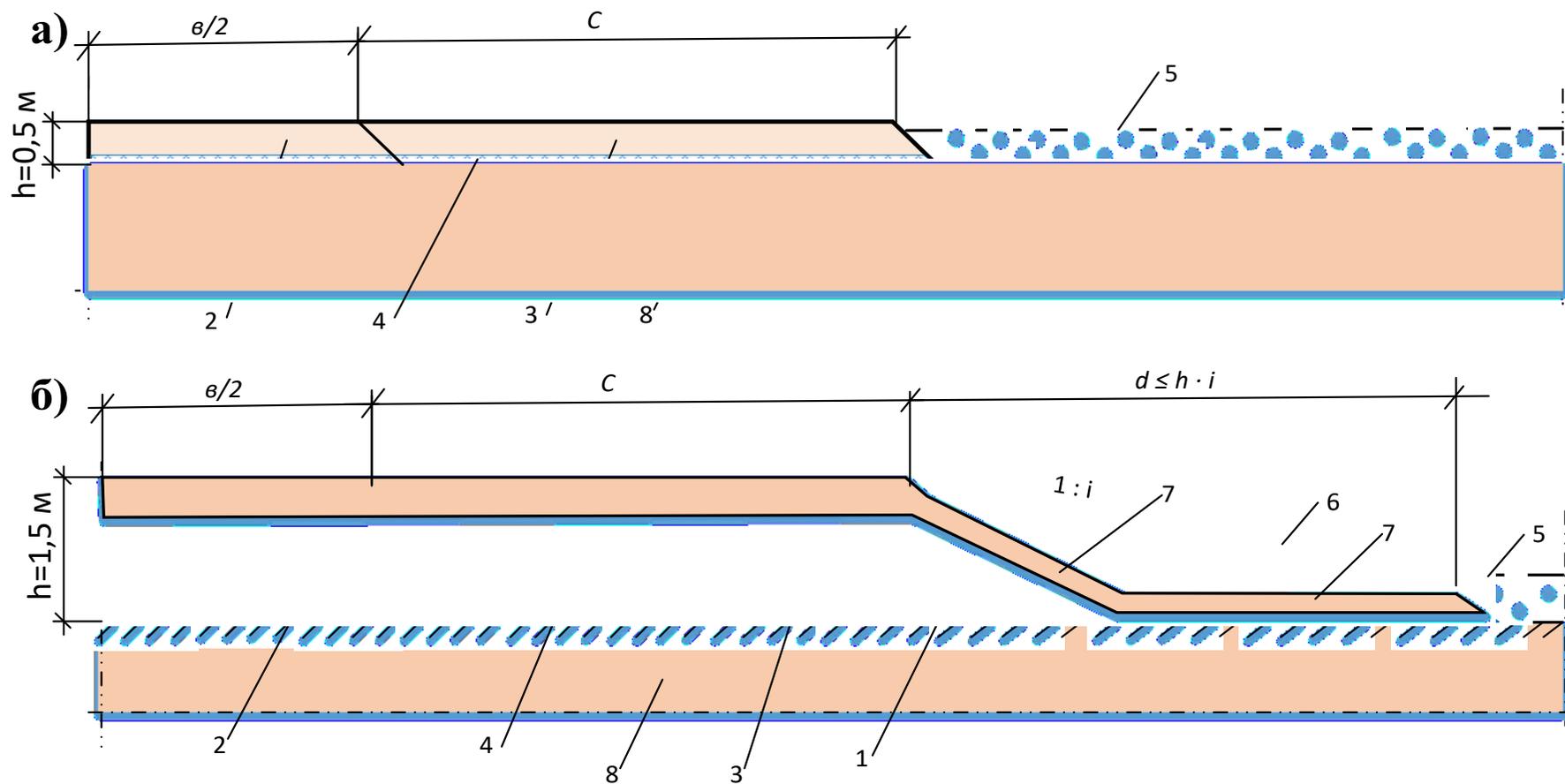


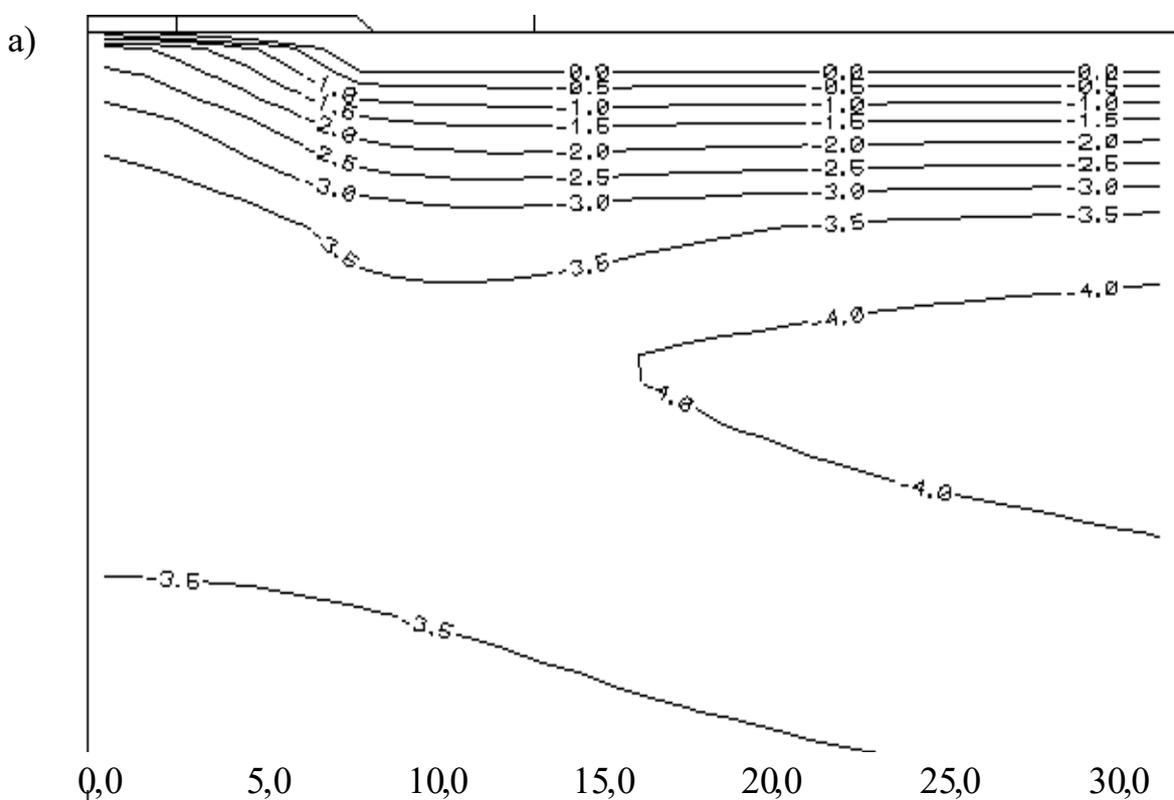
Рисунок 5.5 - Схемы насыпей высотой 0,5 – 1,5 м для условий сильного снегопереноса: а, б – насыпь высотой соответственно 0,5 и 1,5 м, 1 – естественная поверхность грунта, 2 – тело насыпи, 3 – боковая поверхностная охлаждающая площадка насыпи (БПН), 4 – теплоизоляция, 5, 6 - уровень снежных отложений соответственно в ненарушенной зоне и в зоне откоса насыпи, 7 - защитный слой теплоизоляции, 8 – грунт основания

На рис. 5.6 представлено сопоставление расчётных температурных полей для ряда случаев. Начальная температура грунтов минус $0,5^{\circ}\text{C}$. Температура воздуха принята по табл. 1.4. Ширина «b/2» принята 2,5 м, ширина «с» - 5 м, ширина «d» - 5 м. Расчёт приведён для схемы рис. 5.5,а (взята правая половина сечения в связи с тепловой симметрией).

На рис. 5.6 представлено три поля: для температуры воздуха -6°C , -4°C , -2°C . В случае температуры воздуха -6°C размеры охлаждающей площадки могут быть уменьшены (рис. 5.6,а).

Случай, представленный на рис. 5.6,б, может быть принят для проектного решения.

В случае, представленном на рис. 5.6,в, необходимо предусмотреть дополнительные мероприятия. При этом для высоты 1,5 м могут быть использованы габионы-диоды, либо глубинное охлаждение термоопорами или термостабилизаторами.



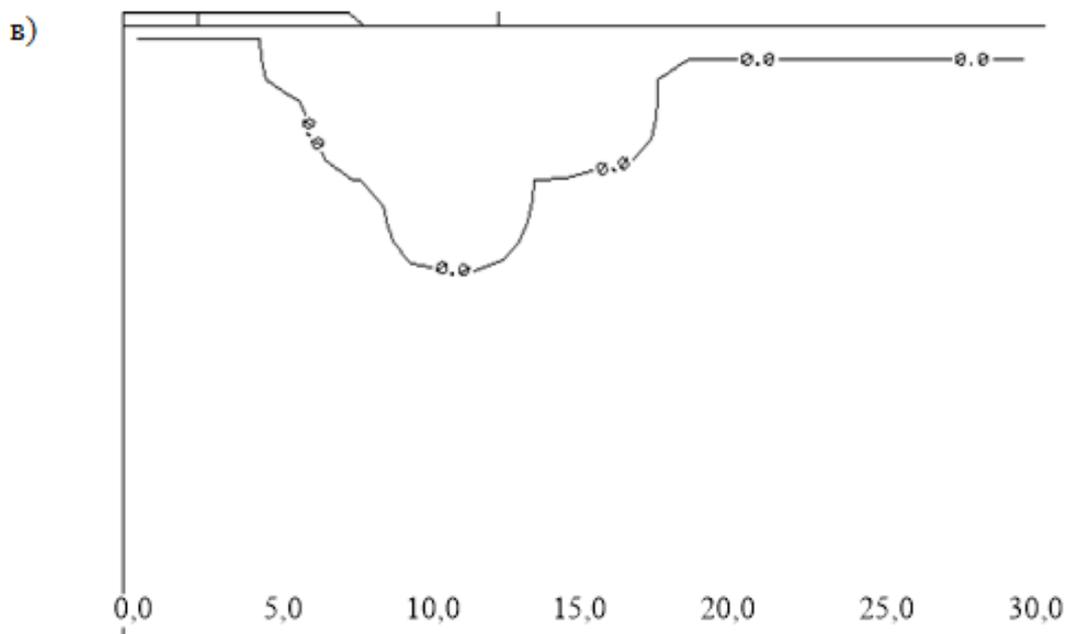
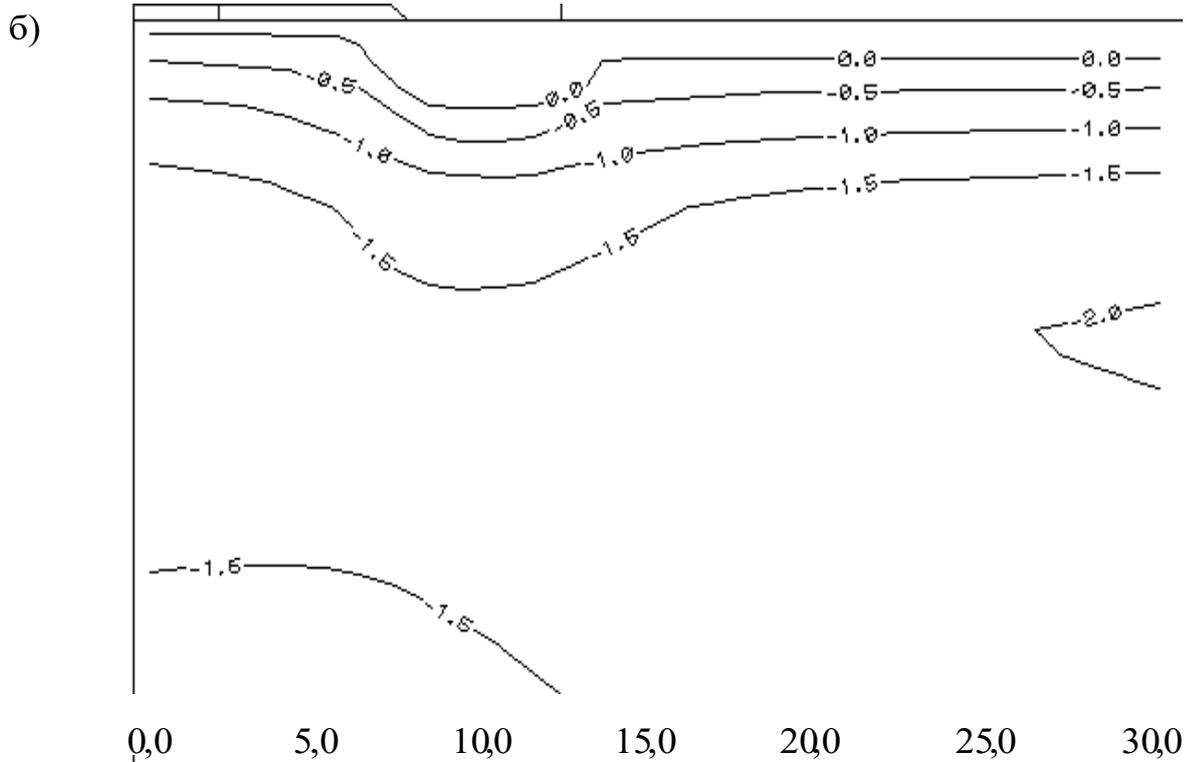


Рисунок 5.6 – Сопоставление расчётных температурных полей для насыпи высотой 0,5 м в регионе I: а, б, в – соответственно для среднегодовой температуры воздуха $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при наличии теплоизоляции.

6. ВЫЕМКИ

6.1. Общие положения

Одним из главных факторов, определяющих схему выемки, является снегоперенос. При большом снегопереносе для обеспечения нормальной эксплуатации выемки необходимо делать пологие откосы. В связи с этим по мере увеличения глубины выемки резко возрастает её ширина и связанная непосредственно с этим степень нарушения территории. Исследования показали, что в регионах I, II, III выемки открытого типа не рекомендуется устраивать глубиной более 2,0 м. При большей глубине рекомендуются выемки тоннельного типа.

Для регионов IV и V принципиальная схема выемки не зависит от её глубины: все выемки рекомендуется делать открытыми.

6.2. Выемки открытого типа глубиной до 2,0 м для регионов с сильным снегопереносом

Типовое поперечное сечение выемок представлено на рис. 6.1. Это сечение разработано для условий регионов, где нет вечной мерзлоты [3]. Рядом с основной площадкой расположены кюветы. Крутизна откосов зависит от вида грунтов и характера снегопереноса. При сильном снегопереносе крутизну откосов назначают не менее, чем 1:5. В этом случае выемка носит название «раскрытой». Банкетный вал, банкетная канава и нагорная канава устраиваются для отвода поверхностных вод.

В зоне вечной мерзлоты столкнулись с существенными трудностями. Возникают три проблемы:

1) *Состояние откосов при наличии высокольдистых грунтов и погребенных льдов.* Нарушение поверхности крайне опасно и может привести к серьезным деформациям и разрушениям крупных грунтовых массивов. В этом случае рекомендуются выемки тоннельного типа;

2) *Характеристика общего мерзлотного состояния грунтов.* Мерзлота в ряде случаев деградирует. Опасность факта ее деградации усиливается благодаря глобальному потеплению. Для обеспечения надежной эксплуатации выемок должны быть разработаны предложения по совершенствованию конструкции выемок;

3) *Система водоотвода.* Применение банкетных валов и нагорных канав в соответствии с рис.6.1 может привести к формированию таликов в их зоне и, как следствие, к деформации грунтов.

Учет опасности растепления и деградации мерзлоты при сооружении выемок может быть осуществлен путем формирования мероприятий по

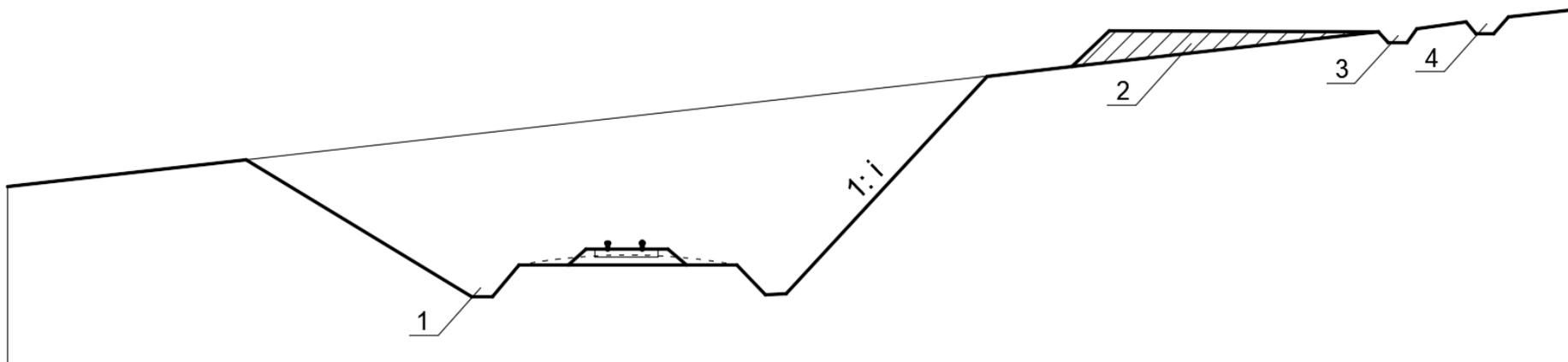


Рисунок 6.1 - Типовой поперечный профиль выемки вне зоны вечной мерзлоты: 1 – кювет; 2 – банкетный вал; 3 – банкетная канава; 4 – нагорная канава

охлаждению грунтов. Эти мероприятия могут быть двух видов: поверхностное и глубинное виды охлаждения.

Для осуществления поверхностного охлаждения может быть предложено сооружение уширенной основной площадки, возвышающейся над поверхностью не менее, чем на 0,5 м. В этом случае снег будет сдуваться с верхней поверхности, что приведёт к поступлению холода в зимний период.

Кроме поверхностного охлаждения целесообразно предусмотреть глубинное охлаждение. Оно может быть осуществлено с помощью термоопор или термостабилизаторов.

Схема охлаждения при мерзлоте сливающегося и не сливающегося типов приведена на рис. 6.2 и 6.3 (начальное состояние и установившийся режим).

На рис. 6.4 представлено расчётное температурное поле (пример) при начальной температуре $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и применении термоопор.

Конструктивное решение выемки глубиной до 2,0 м предлагается в соответствии с рис. 6.5 и 6.6. Охлаждающая площадка б выделена отдельно. Водоотвод перемещён в центральную зону выемки, при этом для него используется система охлаждения самой выемки.

6.3. Выемки тоннельного типа глубиной более 2,0 м для регионов с сильным снегопереносом [8. 9]

На рис. 6.7 представлен вариант поперечного сечения выемки тоннельного типа, полностью заглубленной ниже естественной поверхности.

Выемка содержит несущую ограждающую конструкцию 1 с полостью внутри, размещенную в котловане с боковыми поверхностями 2, нижней поверхностью 3 и верхней поверхностью 4, совпадающей с естественной поверхностью 5 местности, путевую конструкцию 6, расположенную над слоем не пучинистого грунта 7, который в свою очередь расположен на нижней поверхности 3 выемки, грунт обратной засыпки 8 и грунтовую призму 9, расположенную на поверхностях 4 и 5.

Несущая ограждающая конструкция 1 в своей нижней части размещена в слое не пучинистого грунта 7. Общая высота этого слоя от низа путевой конструкции до нижней поверхности 3 котлована должна быть не меньше глубины сезонного протаивания $h_{\text{т}}$. Путевая конструкция 6 может из себя представлять верхнее строение железнодорожного пути (шпальная решетка, рельсы) или полотно проезжей части для автопроезда. При этом внутренние размеры ограждающей несущей конструкции 1 должны обеспечивать требуемые габариты для осуществления проезда.

Ограждающая несущая конструкция 1 может иметь различное очертание: круговое, прямоугольное, арочное и др. Ряд вариантов представлен на рис. 6.8.

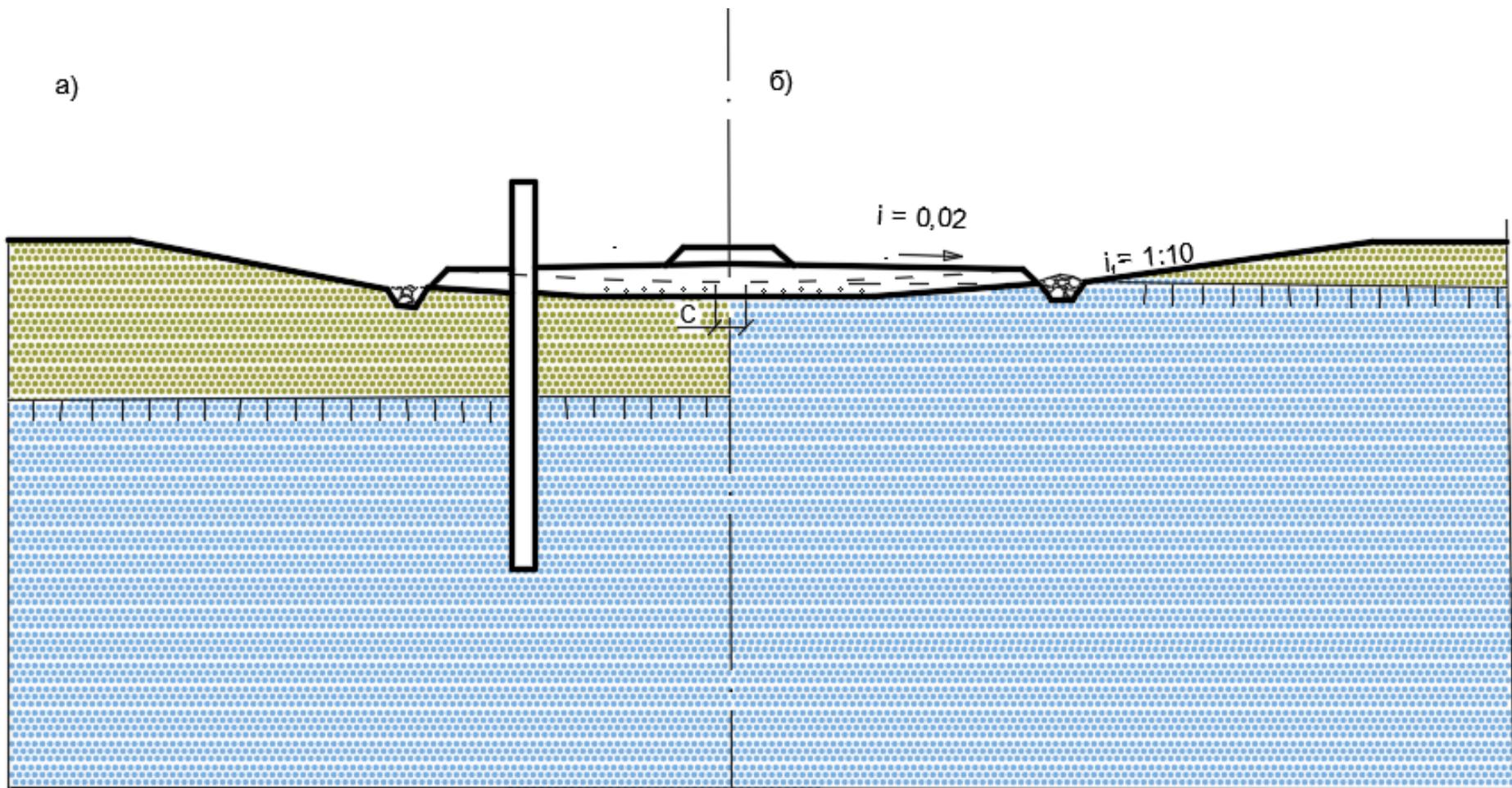


Рисунок 6.2 - Схема выемки на слабых грунтах. Температурное поле начальное: а – при мерзлоте не сливающегося типа, б – при мерзлоте сливающегося типа

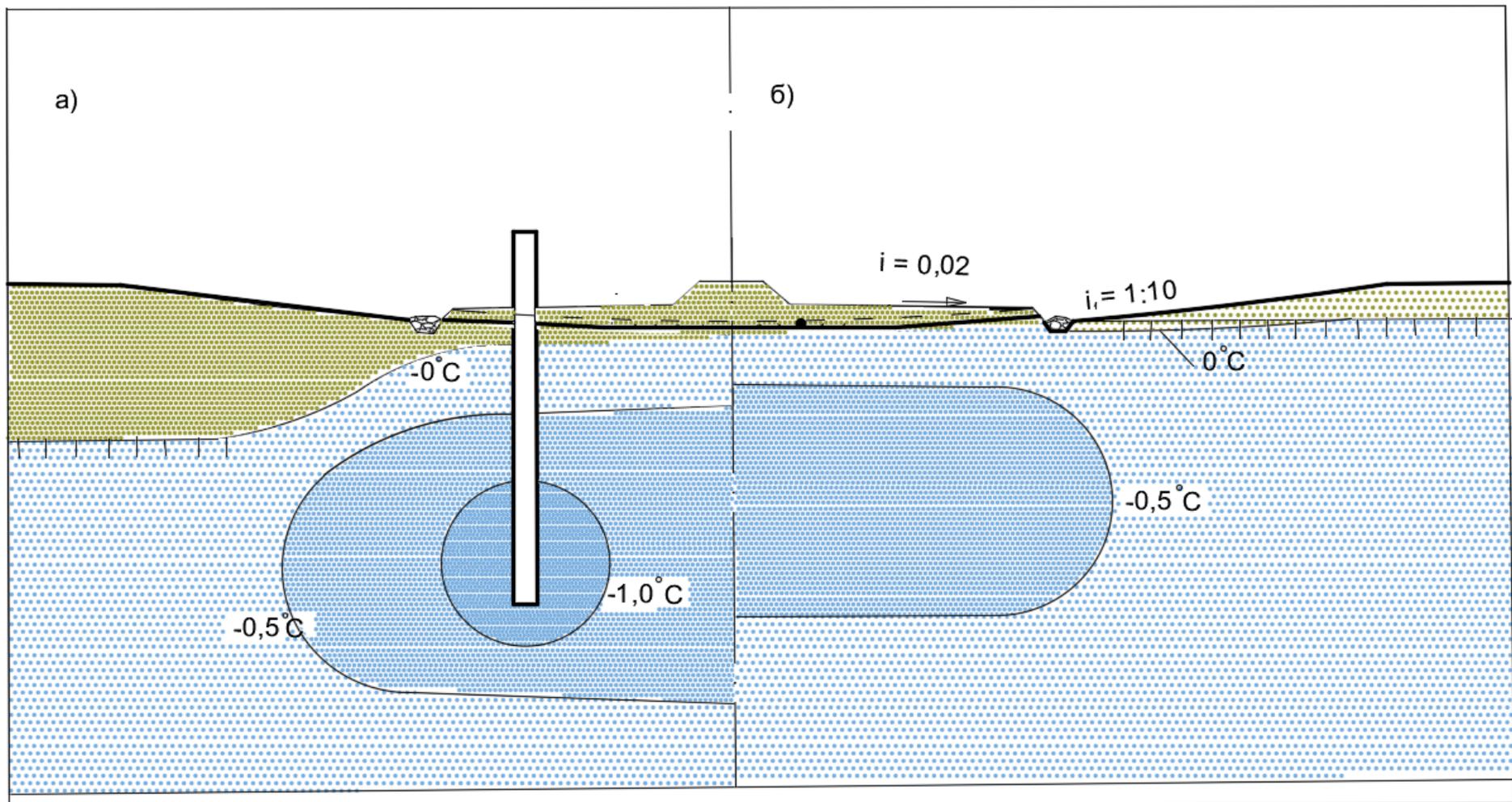


Рисунок 6.3 - Схема выемки на слабых грунтах. Температурное поле в установившемся режиме: а – при мерзлоте не сливающегося типа, б – при мерзлоте сливающегося типа

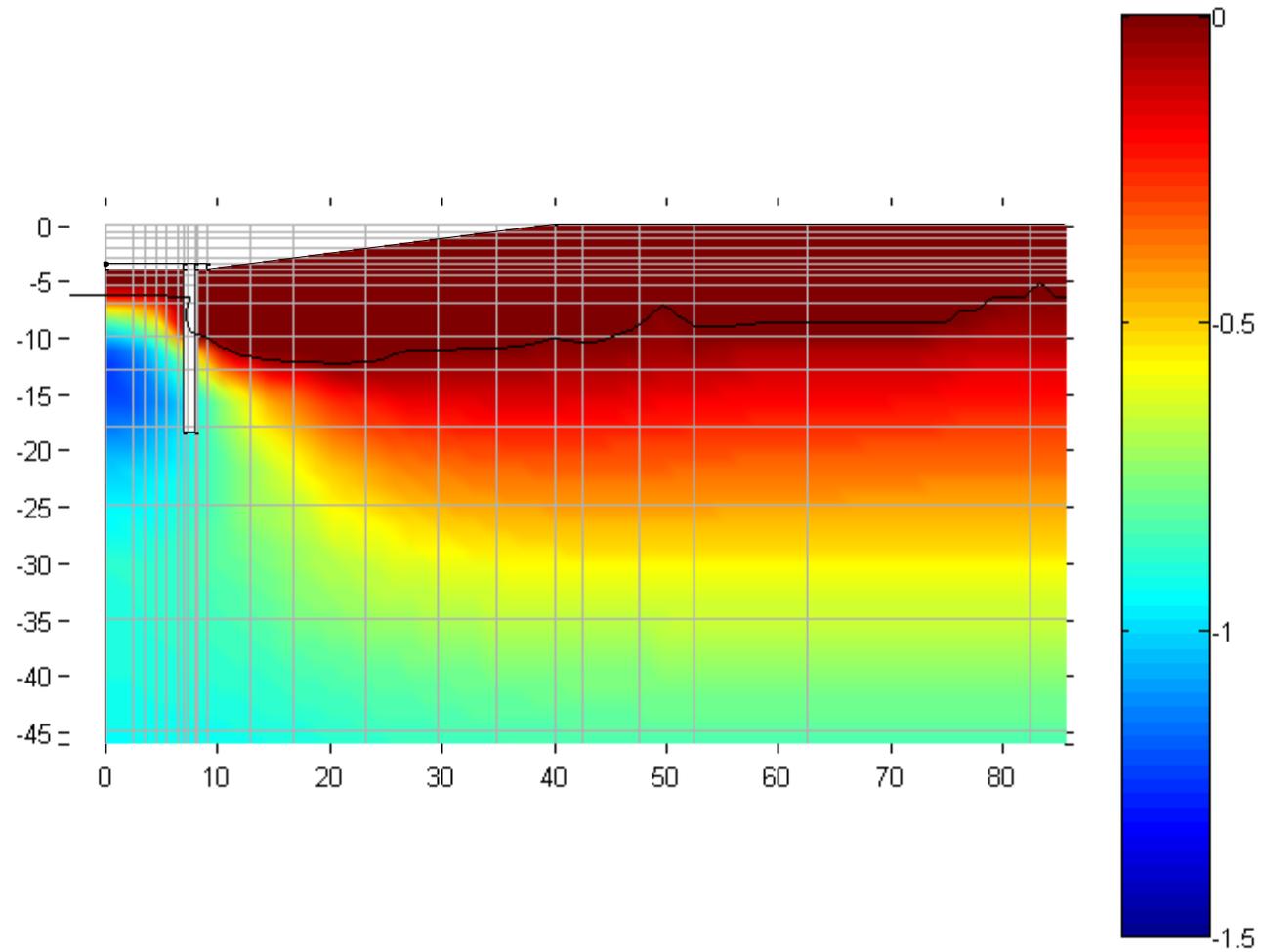


Рисунок 6.4 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) через 50,0 лет при начальной температуре $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и применении термоопор

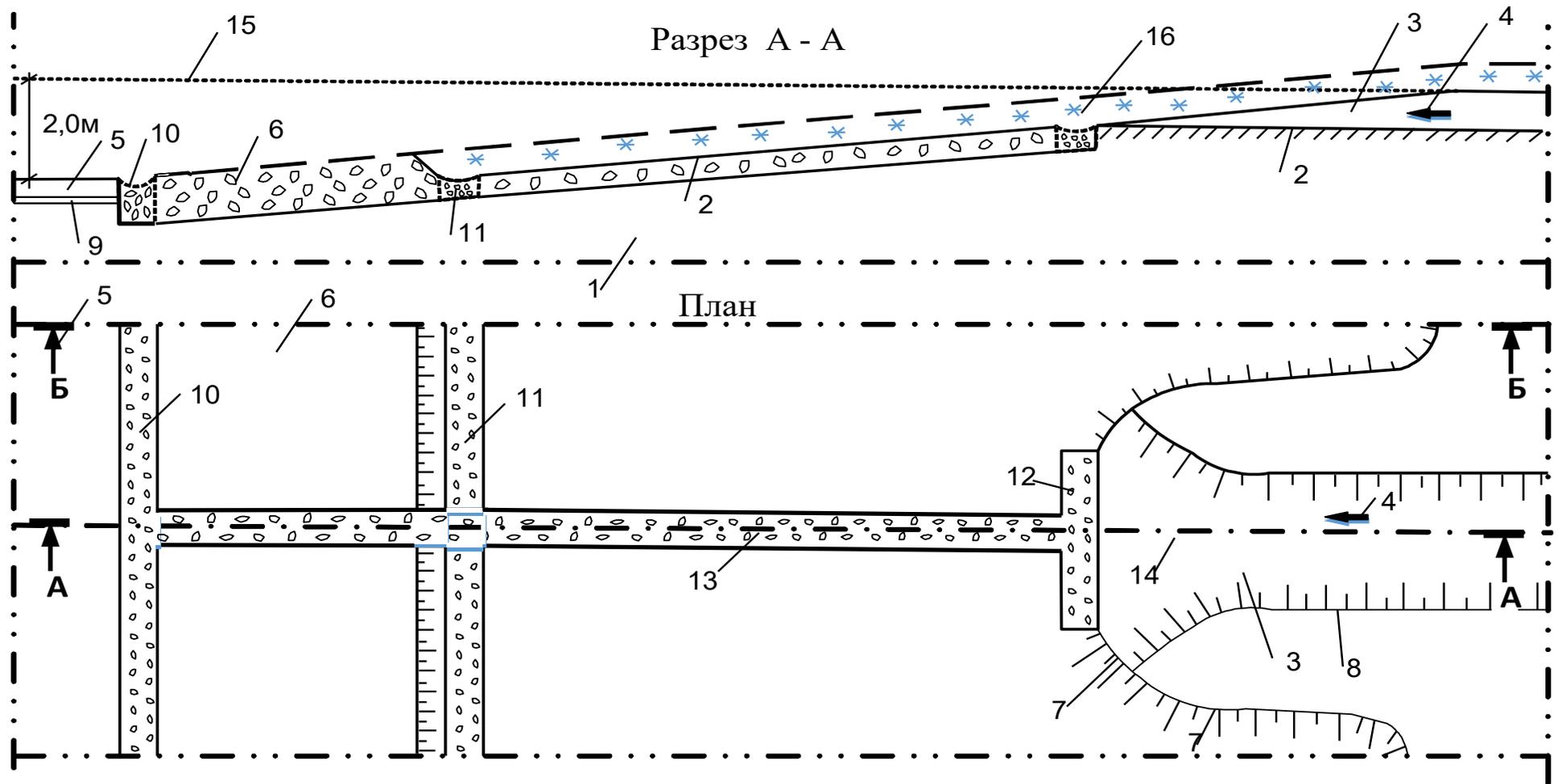


Рисунок 6.5 - Принципиальная схема выемки глубиной 2,0 м в регионах с сильным снегопереносом: а – разрез А-А, б – план, 1 – грунты основания, 2 – естественная поверхность грунта, 3 – полоса стока, 4 – направление водного потока, 5 – зона проезда, 6 – охлаждающая площадка, 7 – граница выемки, 8 – граница полосы стока, 9 – теплоизоляция, 10 - нижний кювет, 11 - верхний кювет, 12 – водосбросная канава, 13 – поперечная канава, 14 – ось полосы стока, 15 - первоначальный уровень грунта, 16 – снежные отложения

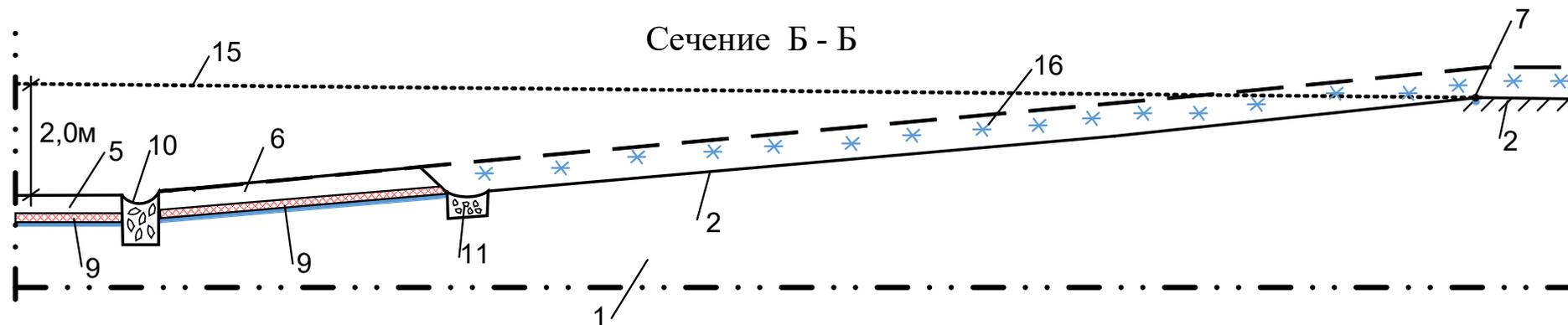


Рисунок 6.6 - Принципиальная схема выемки глубиной 2,0 м в регионах с сильным снегопереносом (сечение Б-Б на рис. 6.5): 1 – грунты основания, 2 – естественная поверхность грунта, 5 – зона проезда, 6 – охлаждающая площадка, 7 – граница выемки, 9 – теплоизоляция, 10 - нижний кювет, 11 - верхний кювет, 15 - первоначальный уровень грунта, 16 – снежные отложения

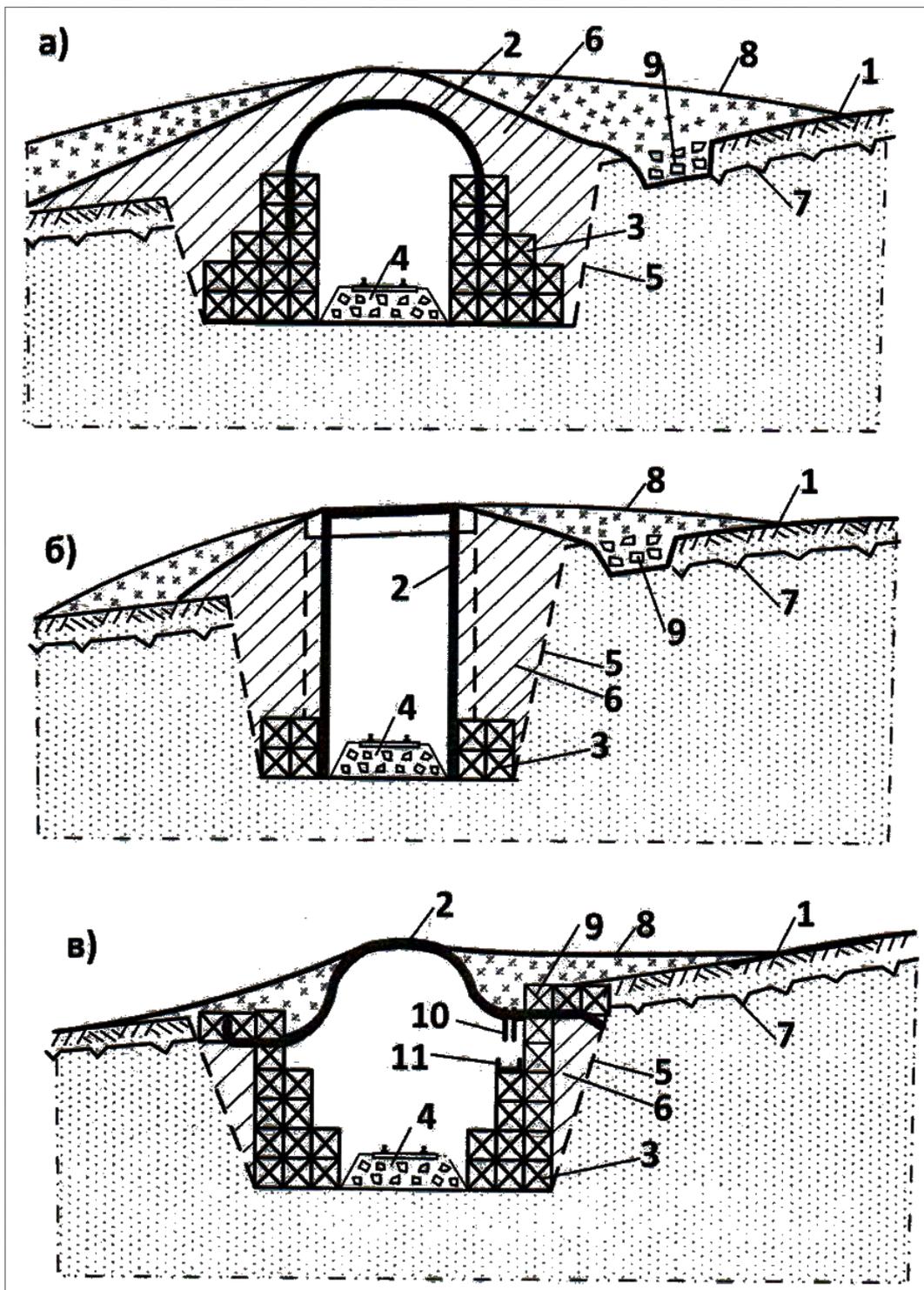


Рисунок 6.8 - Принципиальная схема поперечного сечения выемки тоннельного типа: а – распорная арочного типа, б – рамная система, в – безраспорная система, 1 – естественная поверхность грунта, 2 – ограждающая конструкция из гофрированной стали, 3 – габионы-фиксаторы ограждающей конструкции, 4 – балластная призма, 5 – граница котлована в процессе строительства, 6 – грунт обратной засыпки, 7 – граница деятельного слоя, 8 – граница снежных отложений, 9 – фильтрующие канавы, 10 – водоотводная трубка, 11 – водоотводный жёлоб.

Внизу конструкция может быть незамкнута (арочное очертание). Но вверху конструкция должна быть закрыта. В пределах слоя 7 может быть расположена теплоизоляция 10 (например, пенополистирол) для снижения величины h_T .

Конструкция работает следующим образом. Первый источник поступления холода – это полость несущей ограждающей конструкции. Однако при большой длине подземного проезда охлаждающий эффект от поступления наружного воздуха (среднегодовая температура которого отрицательная) в полость снижается. Данная конструкция предназначена для применения в регионах с сильным снегопереносом, где снег сдувается с возвышенных мест. Для использования этого эффекта устроена грунтовая призма 9, возвышающаяся над окружающим снежным покровом. Верхняя поверхность этой грунтовой призмы и в зимний и в летний период оголена, поэтому граничит непосредственно с наружным воздухом, среднегодовая температура которого отрицательная.

На рис. 6.9 и 6.10 представлены расчётные схемы для полностью и частично заглублённых выемок. Проведена серия расчётов. На рис. 6.11 и 6.12 представлено сопоставление расчётных температурных полей для полностью заглублённой выемки для регионов I и III и для среднегодовых температур воздуха $-6,0$ °С, $-4,0$ °С, $-2,0$ °С. В зоне проезжей части принята теплоизоляция 10 см, а в прилегающей территории шириной 6,0 м - 5 см.

Как видно из рисунков, поверхностное охлаждение является достаточным вплоть до среднегодовой температуры воздуха $-2,0$ °С. При более высокой температуре требуется глубинное охлаждение. Термопоры и термостабилизаторы необходимо устанавливать на расстоянии 6,0 - 8,0 м от оси выемки.

6.4. Выемки для регионов с отсутствием снегопереноса

В регионах с отсутствием снегопереноса охлаждающими являются вертикальные поверхности или поверхности, расположенные под навесами (общими или местными). В этом случае целесообразно использование технических решений по патентам [4, 6, 7]. Эффективно могут быть использованы выемки тоннельного типа [8,9], поскольку они создают защиту от снегоотложений и от солнечной радиации.

Особенности температурного режима грунтов оснований и рекомендации изложены в главе 2.

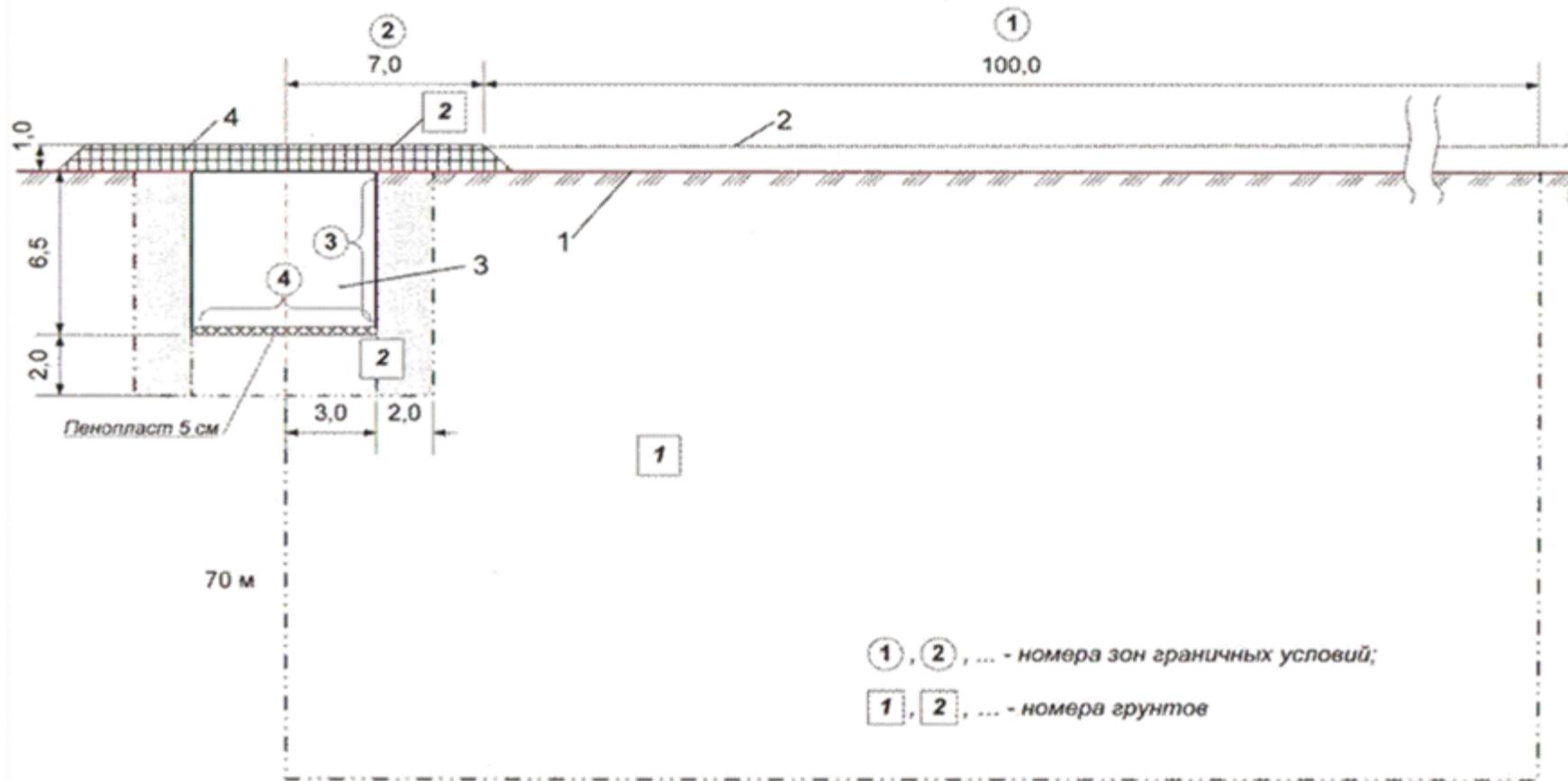


Рисунок 6.10 - Расчётная схема частично заглублённой выемки тоннельного типа: 1 – естественная поверхность грунта, 2 – уровень снегоотложений, 3 – полость выемки тоннельного типа, 4 – грунтовая насыпь.

в)

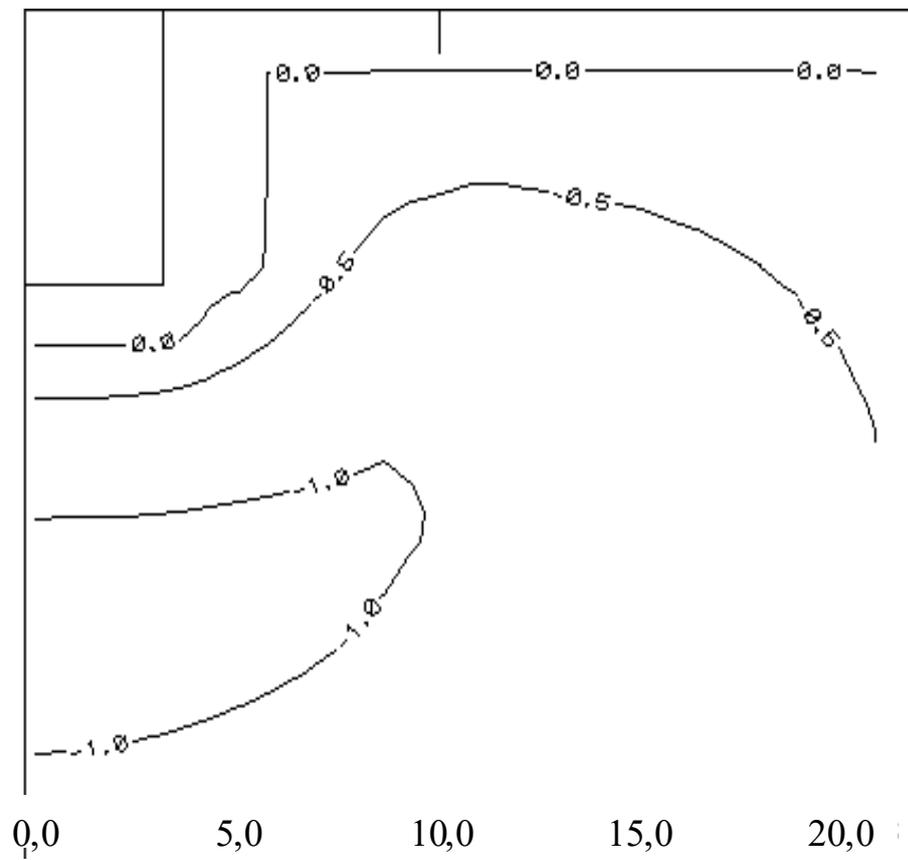
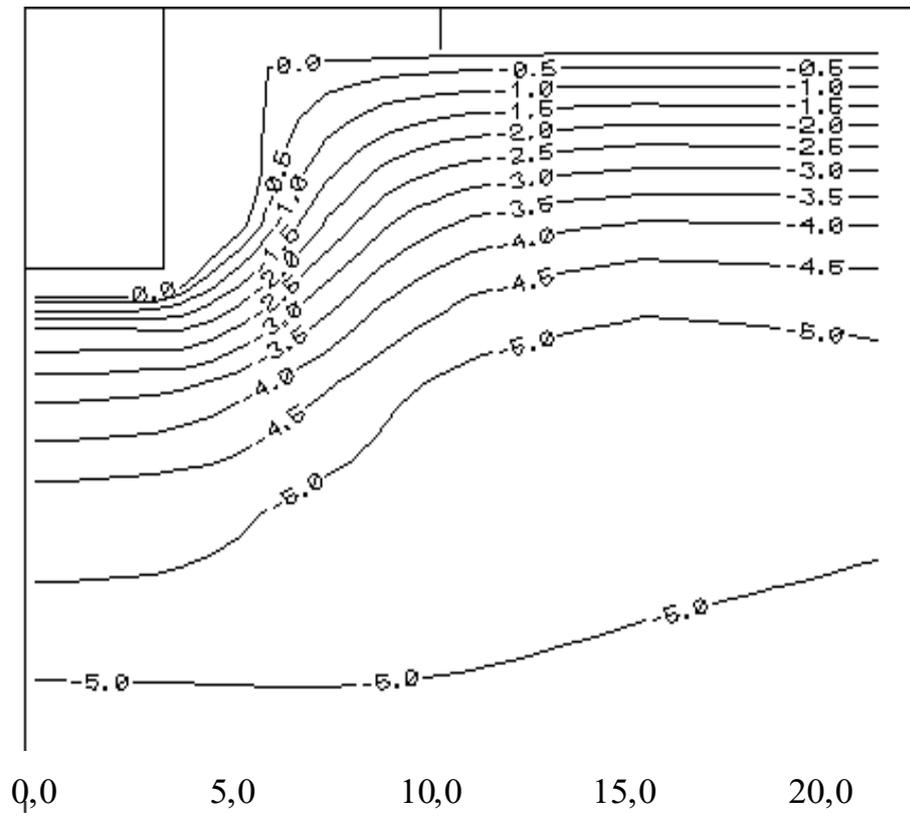
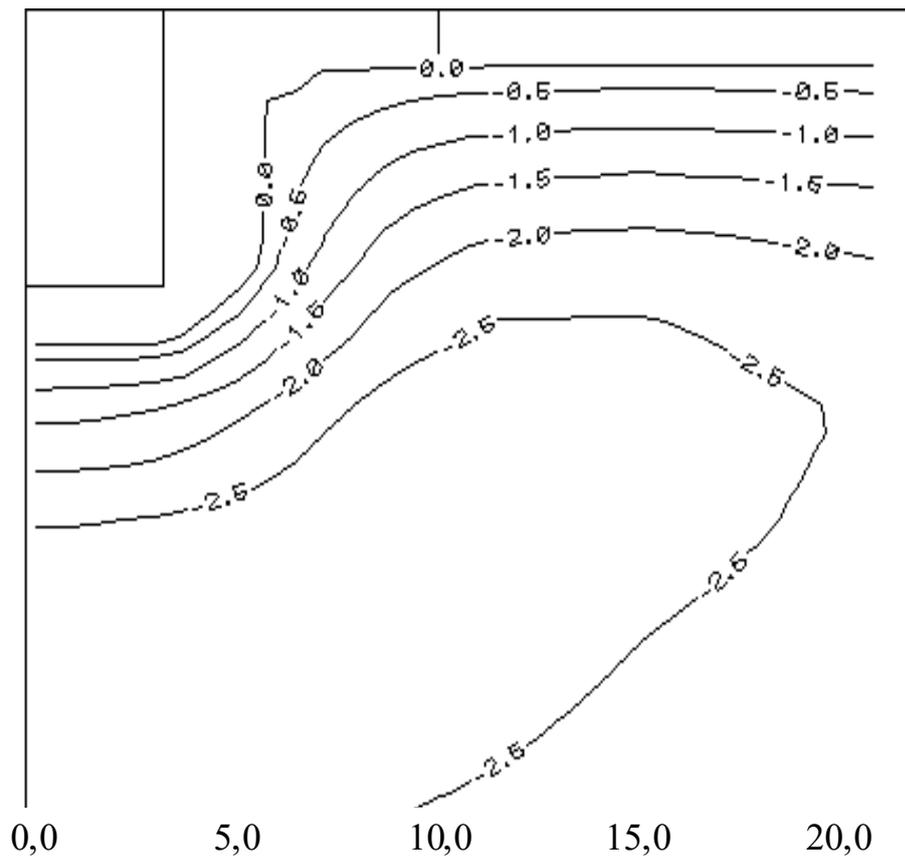


Рисунок 6.11 – Сопоставление расчётных температурных полей для выемки тоннельного типа глубиной 6,0 м в регионе I: а, б, в – соответственно для среднегодовой температуры воздуха - 6,0 °С, -4,0 °С, -2,0 °С

a)



b)



в)

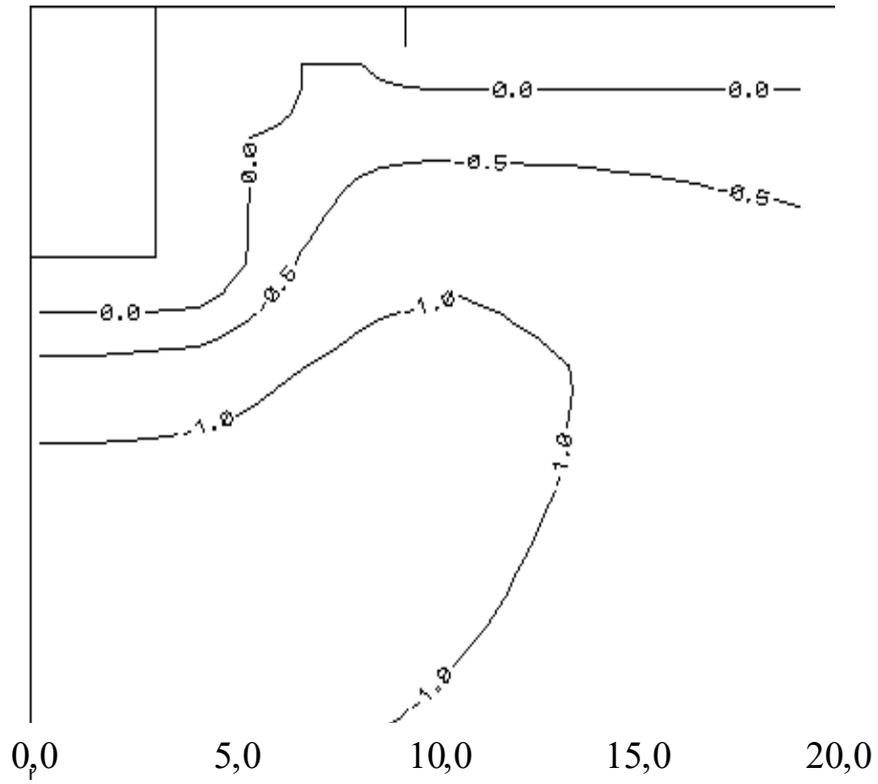


Рисунок 6.12 – Сопоставление расчётных температурных полей для выемки тоннельного типа глубиной 6,0 м в регионе III: а, б, в – соответственно для среднегодовой температуры воздуха - 6,0 °С, - 4,0 °С, - 2,0 °С

7. МОСТОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

7.1 Общие положения

Существует большое разнообразие мостов:

- по размеру (малые, большие, внеклассные);
- по конструкции (балочные, арочные, висячие и др.);
- по назначению (железнодорожные, автодорожные, мосты-каналы);
- по виду преодолеваемого препятствия (мосты через водные препятствия, путепроводы, эстакады, виадуки и др.) и т.п.

На вечной мерзлоте все они требуют применения теплоизоляции, которая зачастую играет ведущую роль в обеспечении надёжности мостового перехода.

Но проектирование мостового перехода требует во много раз более точного учёта специфики местных условий, поэтому здесь не ставится задача дать рекомендации по типовым схемам мостовых переходов в целом, предлагаются рекомендации по отдельным элементам мостового перехода.

Уточнение рекомендуемых положений следует делать при проектировании конкретных объектов.

7.2. Уширенные площадки [11 и 12]

В регионах с сильным снегопереносом для мостовых переходов разработана уширенная площадка - один из эффективных видов охлаждающих площадок. Принципиальная схема площадки для зоны устоя моста представлена на рис. 7.1. Она представляет собой грунтовую площадку радиусом «R», при этом

$$R = 2h, \text{ м}, \quad (7.1)$$

где h , м - глубина намороженной зоны «8» (рис. 7.1).

Общий вид моста с уширенными площадками представлен на рис. 7.2. Мост был сооружён на 24 км ж. д. линии Обская – Бованенково в 1988 году. В регионах с сильным снегопереносом с возвышенных мест снег сдувается, и эти поверхности становятся мощными охлаждающими зонами. На рис. 7.3 представлен вид этого моста в зимний период - верхняя поверхность площадки оголена. На рис. 7.4 представлена динамика изменения расчётного температурного поля за 20 лет: в 1988 году площадка была отсыпана в зоне полосы стока, где был расположен талик (рис. 7.4,а). К 1994 году произошло формирование мёрзлого ядра, в 2007 году имеет место дальнейшее понижение температуры.

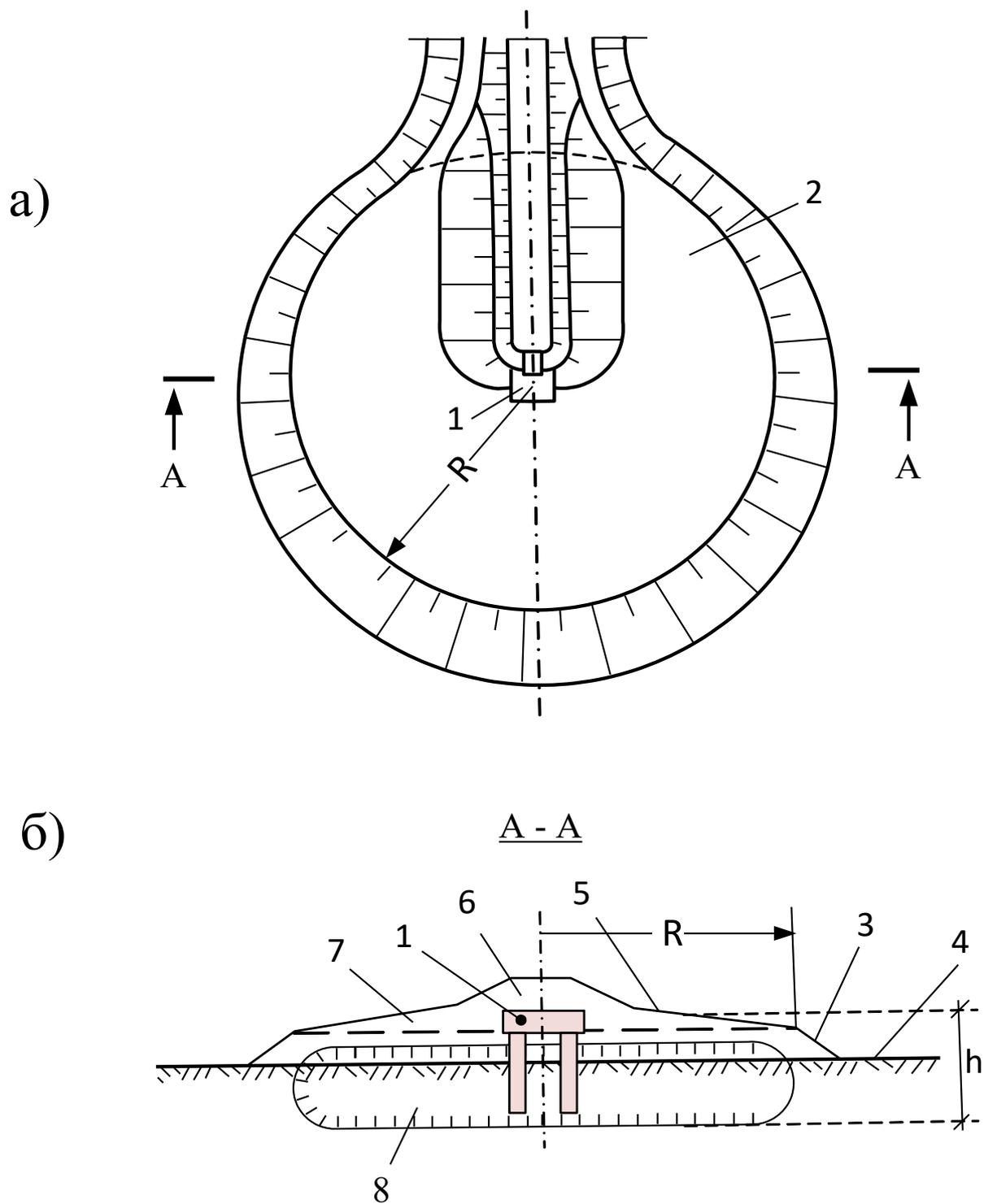


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема уширенной площадки: а – план, б – разрез А-А, 1 – устой, 2 – уширенная площадка, 3 – откос уширенной площадки, 4 – естественная поверхность грунта, 5 – верхняя поверхность уширенной площадки, 6 – тело насыпи, 7 – тело уширенной площадки, 8 – мёрзлое ядро

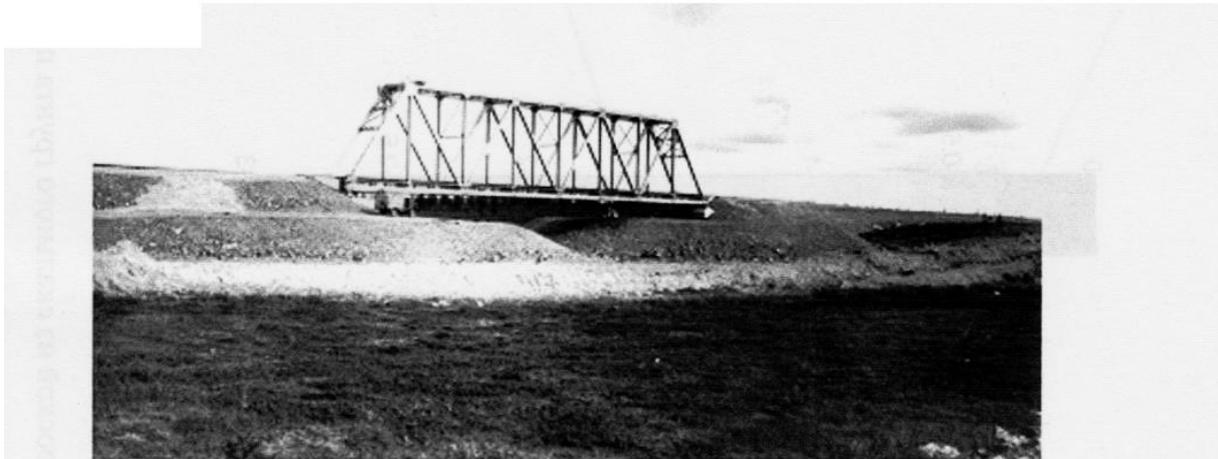


Рисунок 7.2 – Общий вид моста с уширенными площадками на км 24 железнодорожной линии Обская-Бованенково

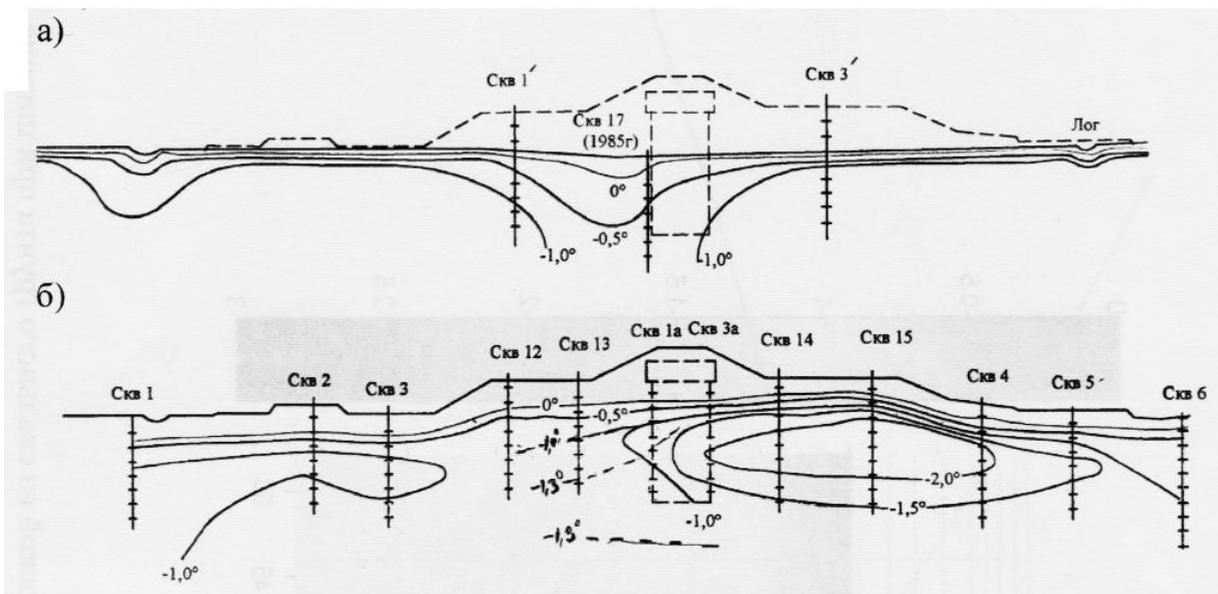


Рисунок 7.4 – Температурные поля в грунтах оснований моста на км 24: а – начальное состояние (1988 г.), б – положение на сентябрь 1994 г., штриховая линия – положение на сентябрь 2007 г.

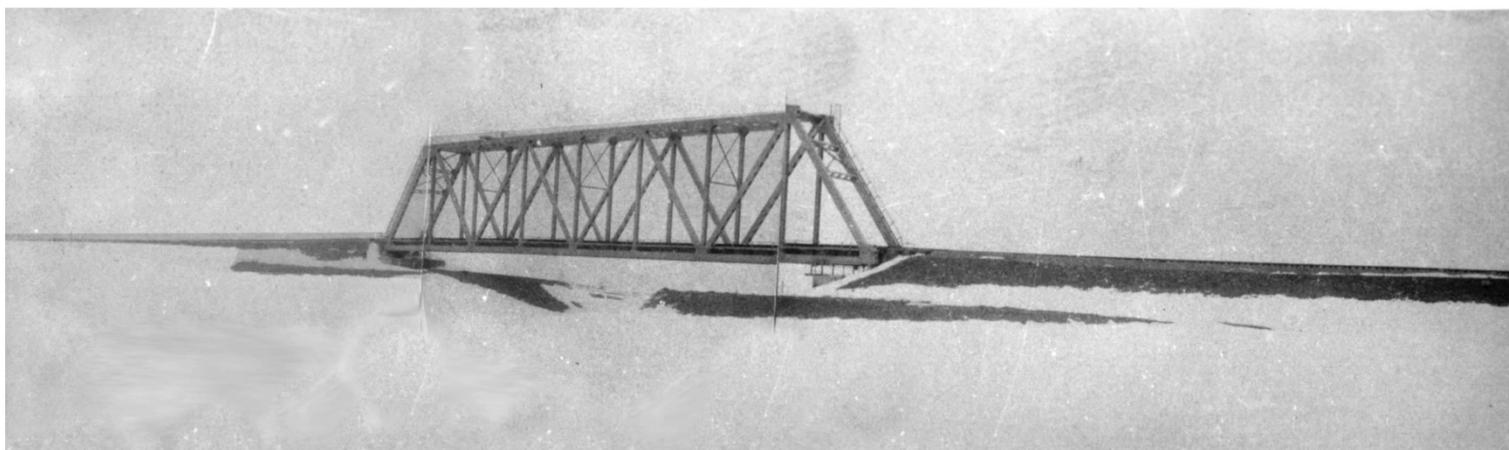


Рисунок 7.3 - Мост на 24 км железнодорожной линии Обская–Бованенково с верхней оголённой от снега поверхностью уширенных площадок

На рис. 7.5 представлен вариант уширенной площадки для промежуточных опор моста. Площадки могут быть отсыпаны как для отдельной опоры, так и для ряда опор. Площадки могут иметь незначительное отклонение от кругового очертания для обеспечения наименьшего стеснения русла водотока (рис. 7.5,б). При этом

$$(B_1 + B_2)/2 \approx R, \text{ м}, \quad (7.2)$$

где R определяется по формуле 7.1.

Важность применения теплоизоляции в составе уширенных площадок.

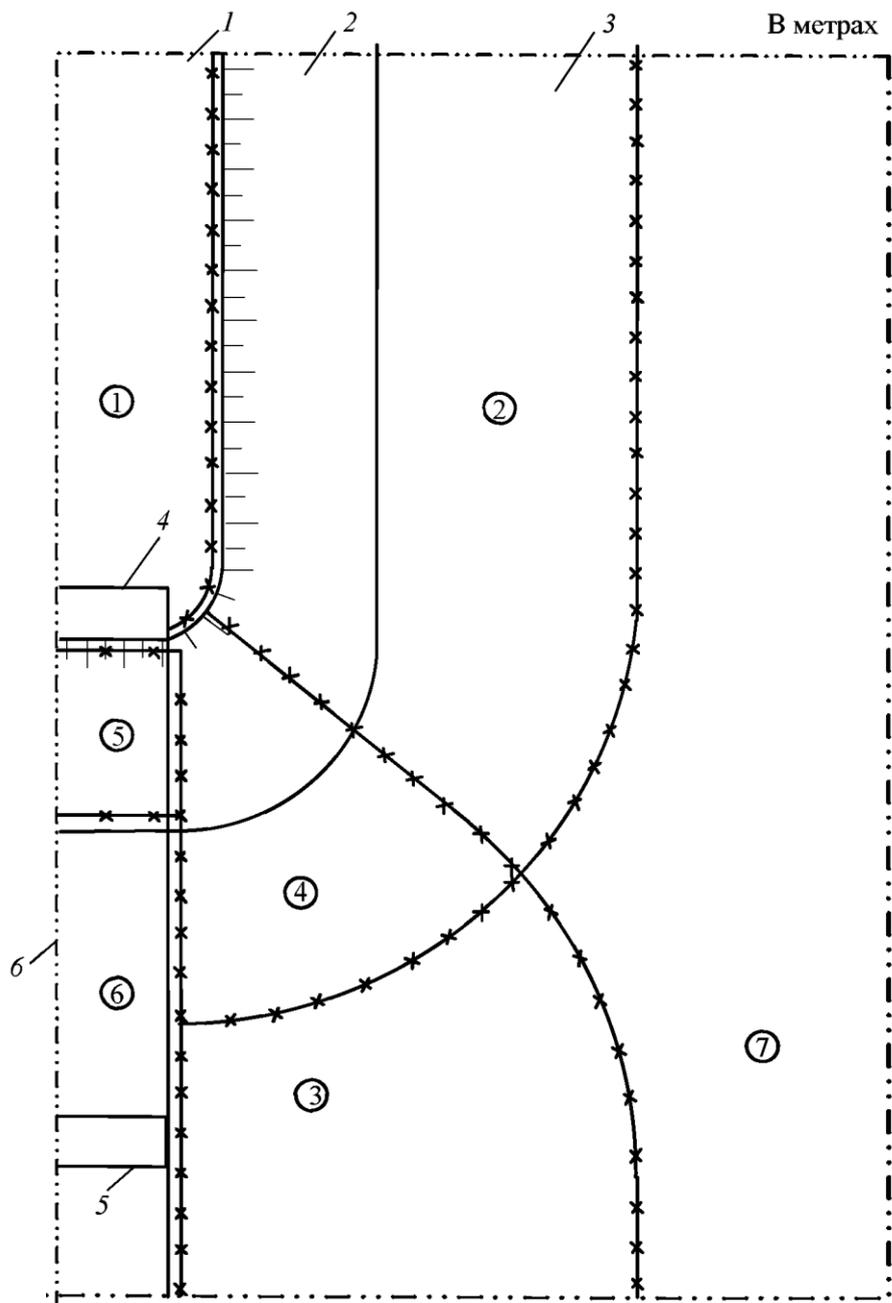
Применение теплоизоляции в составе уширенной площадки целесообразно в двух её частях:

- на верхней поверхности площадки;
- в зоне откосов и прилегающей к подошве откосов территории.

В первом случае теплоизоляция уменьшает глубину сезонного протаивания. Это важно для снижения опасности пучения. Кроме того, при столбчатых опорах моста - это снижает глубину заделки столба, уменьшая изгибающий момент в столбах. Рекомендуется укладка теплоизоляции 5 см независимо от региона и температуры воздуха. Во втором случае устройство теплоизоляции целесообразно по двум причинам: во-первых, можно существенно уменьшить радиус « R », т.е. объёмы грунта; во-вторых, при применении теплоизоляции ликвидируется талик, который образуется в зоне больших снежных отложений. Талик неприятен тем, что в его зоне вырастает высокий кустарник, резко снижающий продуваемость верхней поверхности уширенной площадки, что, в свою очередь, увеличивает опасность снегоотложений. Рекомендуется вне зависимости от региона и температуры воздуха укладка теплоизоляции 10-15 см.

7.3. Боковые конусные площадки в зоне устоя моста

В регионах с сильным снегопереносом на речном откосе устоя моста по бокам от пролётного строения происходит мощный надув снега (зона 4 на рис. 7.6). Чтобы избежать растепляющего влияния этой зоны, предложено устроить в этой зоне боковую конусную площадку [13]. Замена объёма снежных отложений грунтовой площадкой превращает растепляющую зону в охлаждающую. Боковая конусная охлаждающая площадка может иметь разные конструктивные особенности. Если внутреннюю поверхность, то есть находящуюся под пролётным строением, сделать вертикальной с помощью габионов или железобетонной стенки (рис. 7.7), то площадка формирует мощный охлаждающий эффект. Натурные наблюдения показали, что



① – ⑦ – зоны с различным снегоотложением;

—x—x— — границы зон с различным снегоотложением;

1, 2 – основная площадка и откос подходной части насыпи соответственно; 3 – ненарушенная территория; 4 – устой; 5 – промежуточная опора; 6 – продольная ось моста

Рисунок 7.6 - Схема снежных отложений в пределах мостового перехода при наличии снегопереноса

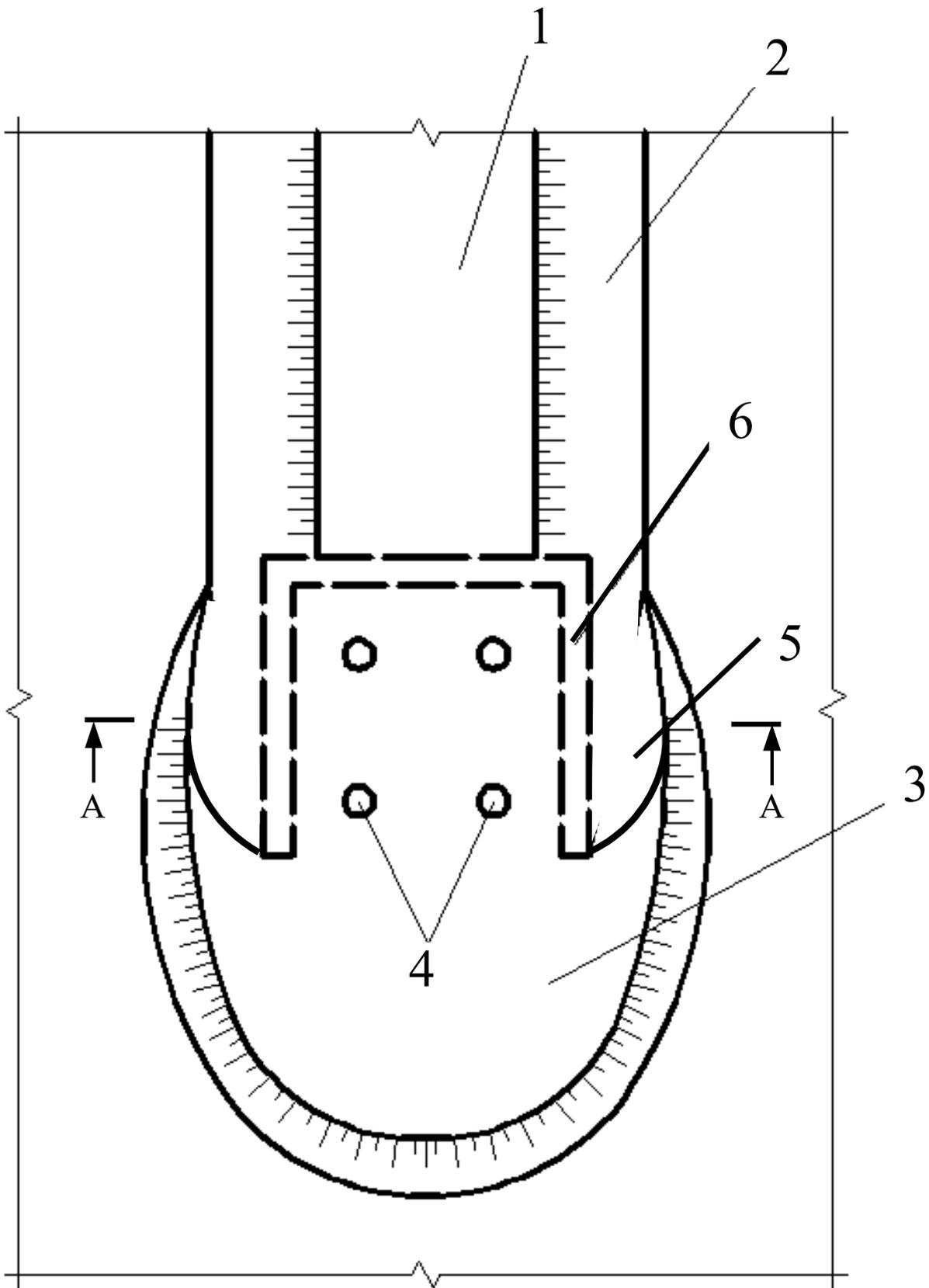


Рисунок 7.7 - Часть мостового перехода в зоне устоя моста: 1 – основная площадка насыпи, 2 – откос насыпи, 3 – уширенная площадка, 4 – столбы фундамента устоя, 5 – боковая конусная площадка, 6 – ограждающая вертикальная стенка площадки 5

внутренняя полость, образуемая ограждениями 6 (рис. 7.7) под пролётным строением, снегом не заносится, поэтому в этой зоне идёт интенсивное охлаждение, которое суммируется с охлаждением от других зон. На рис. 7.8 дан пример охлаждающего влияния площадки. Повысить эффективность площадки можно укладкой теплоизоляции (5 см) на внешней части площадки. Она будет компенсировать отепляющее влияние временных снежных отложений.

7.4. Глубинное охлаждение грунтов оснований опор мостов [14,15,16]

Применение глубинного охлаждения с помощью термоопор или термостабилизаторов (рис. 7.9) позволяет принципиально повысить эффективность - повысить надёжность и снизить стоимость сооружения, особенно при высоких температурах мерзлоты и даже в таликах.

Применение теплоизоляции в зоне глубинного охлаждения позволяет существенно увеличить эффективность: увеличить температуру охлаждения на 1-2 °С и уменьшить глубину сезонного протаивания и тем самым уменьшить глубину заделки столба и величину изгибающего момента. Теплоизоляцию рекомендуется укладывать в зоне опоры и за её пределами на ширину двойной глубины сезонного протаивания (без учёта теплоизоляции). Мощность теплоизоляции 10 см.

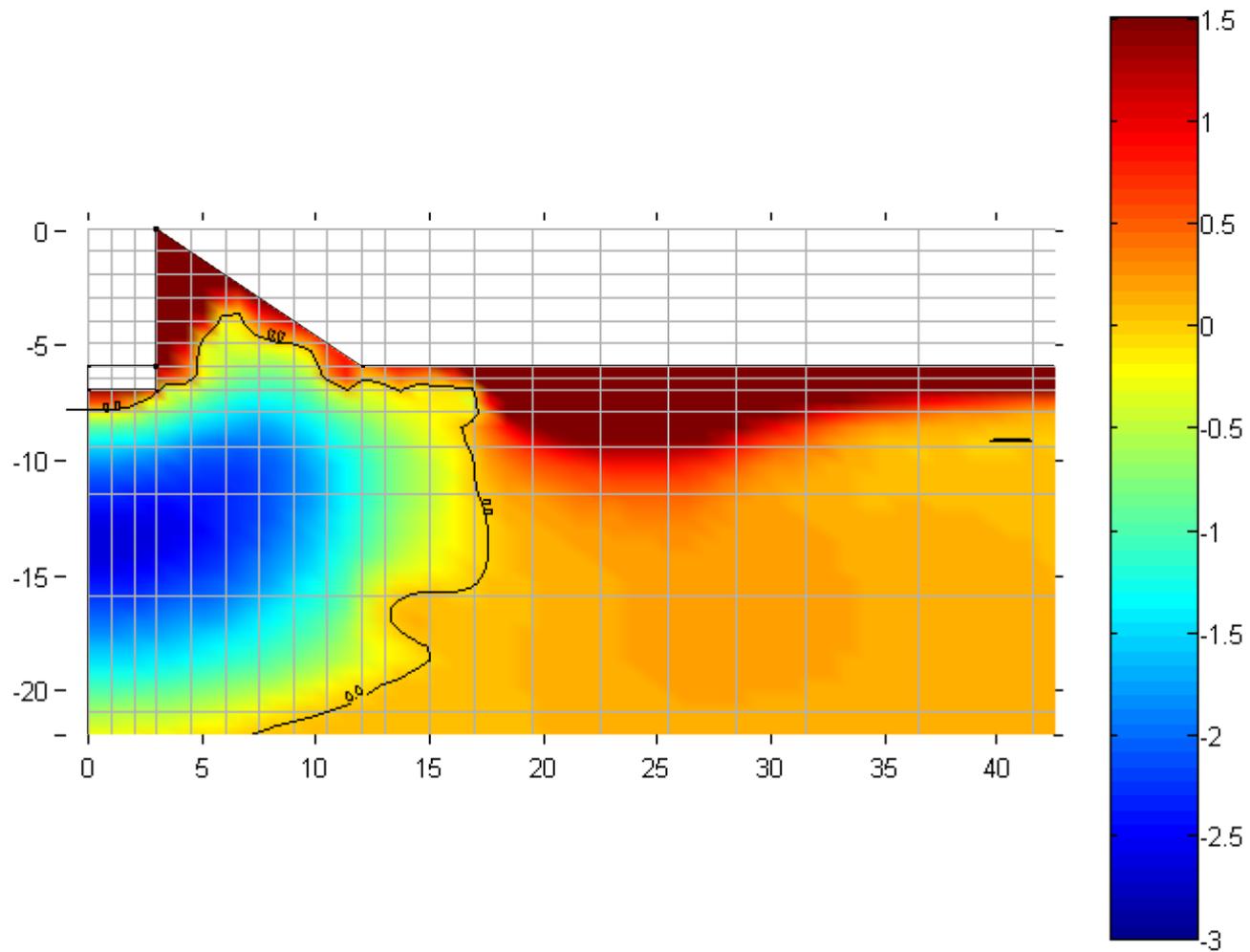


Рисунок 7.8 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) через 50,0 лет (сечение А-А на рис. 7.7)

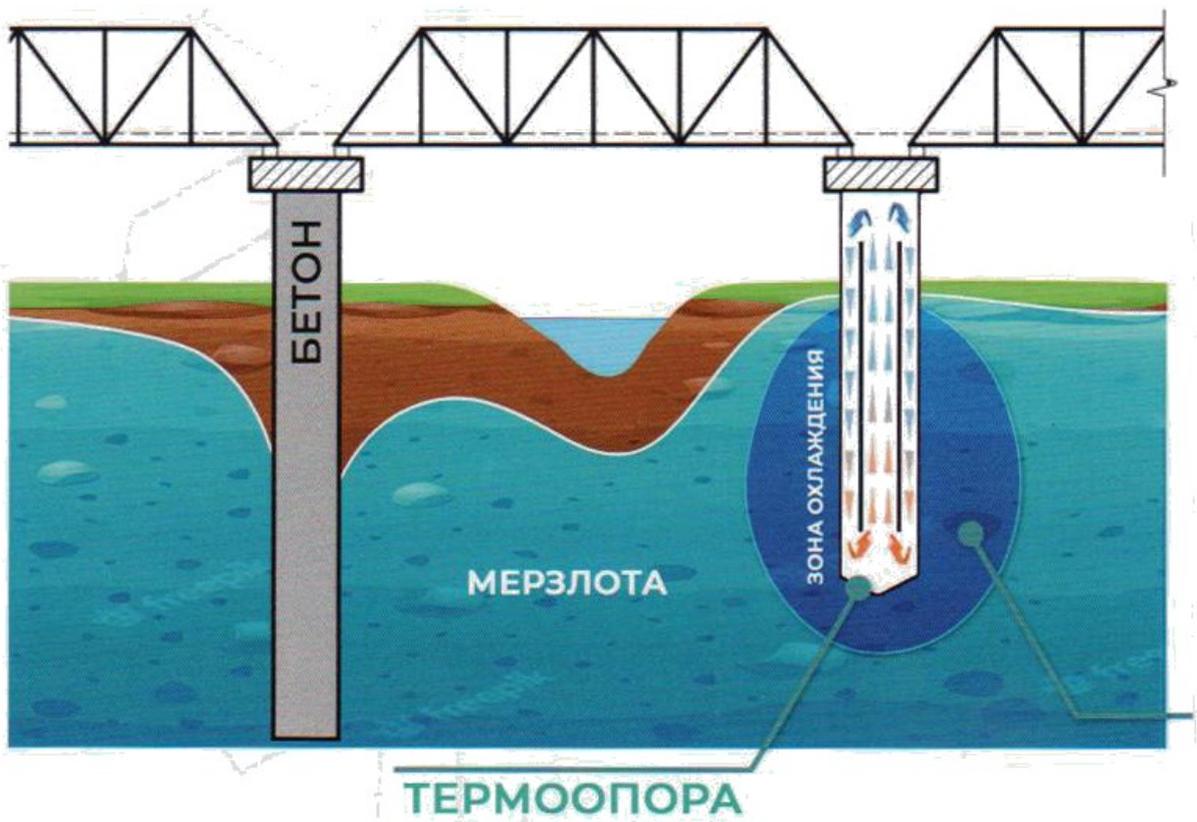


Рисунок 7.9 – Сопоставление эффективности столба мостовой опоры сплошного сечения и термоопоры

8. МАЛЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ, УСТАНОВЛЕННЫЕ НА НАСЫПЯХ ЖЕЛЕЗНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

8.1. Характеристика объектов

На железных и автомобильных дорогах неизбежна установка большого количества малых инженерных сооружений: шкафов управления, вагончиков для обслуживания и для оборудования и т.п. (рис. 8.1). В зоне вечной мерзлоты эти сооружения приводят к дополнительным тепловым воздействиям, которые способствуют протаиванию мёрзлых грунтов оснований и деформациям этих сооружений, поэтому актуальной задачей является разработка мероприятий по стабилизации положения этих сооружений.

8.2. Постановка задачи

Область изучения:

1) все малые инженерные сооружения расположены на площадках, т.е. на дорожной насыпи или на её уширениях в пределах станции и разъездов, расположенных в зоне вечной мерзлоты;

2) общая стабильность площадки обеспечена за счёт применения различных мероприятий по охлаждению: температура грунта на глубине 10-20 м гарантирована не выше минус 0,5°C. Необходимо обеспечить стабильность малых инженерных сооружений в пределах существующей глубины протаивания (предотвратить местные осадки) и не допустить увеличение глубины протаивания. Принципиальная схема температурного состояния грунтов оснований приведена на рис. 8.2;

3) диапазон размеров в плане сооружений от 1,0 м x 1,0 м до 15,0 м x 15,0 м;

4) разрабатываемые рекомендации должны быть справедливы для всей территории распространения вечной мерзлоты, которая характеризуется крайним разнообразием природных условий. Всего намечено пять регионов, характеристика которых приведена в разделе 1.3. В каждом регионе, которые разделены по характеру снегозаносимости, среднегодовая температура наружного воздуха изменяется от положительной до отрицательной с температурой до минус 12 °C и ниже.



Рисунок 8.1 - Примеры малых инженерных сооружений на железных дорогах

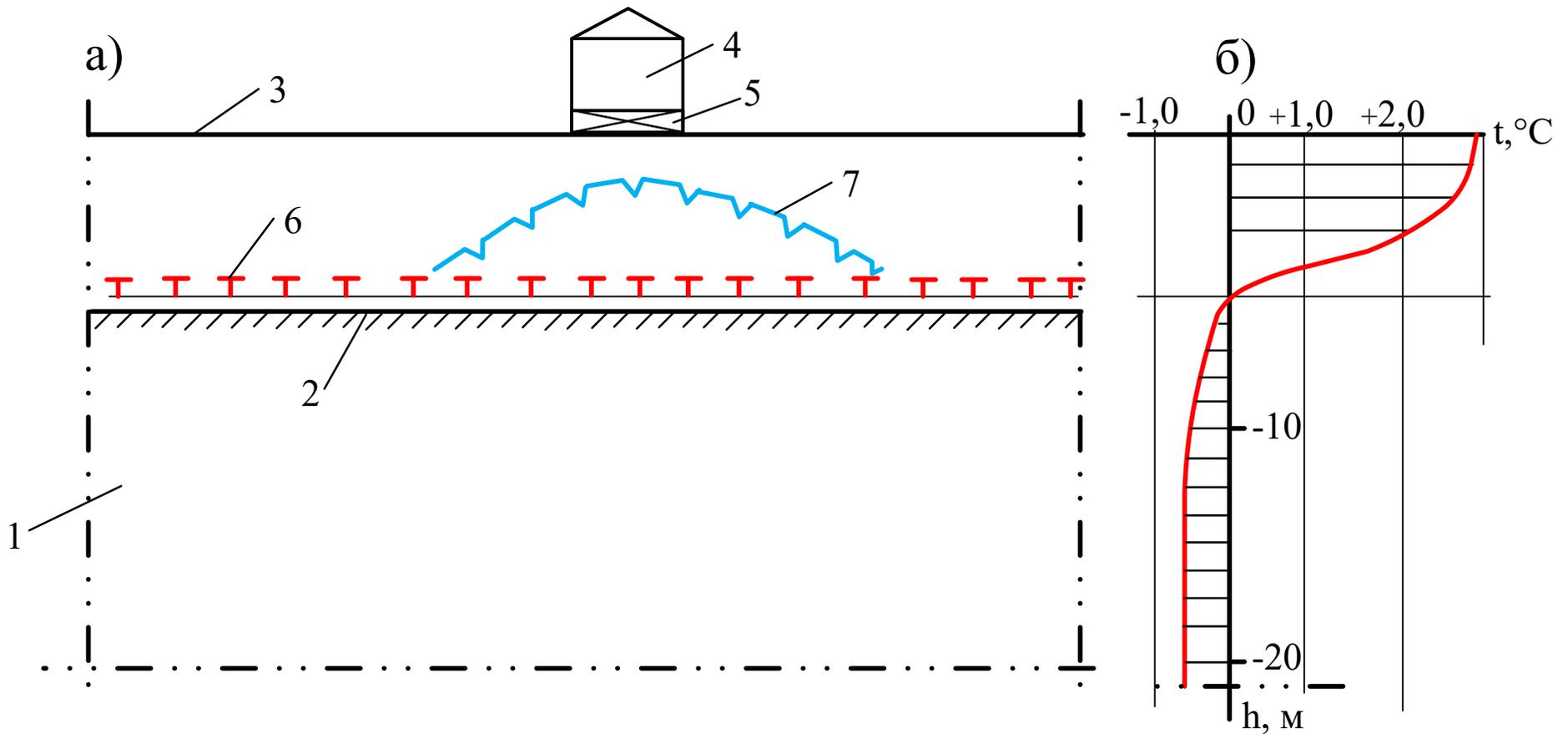


Рисунок 8.2 - Принципиальная схема температурного состояния грунтов оснований малого инженерного сооружения в зоне вечной мерзлоты на момент окончания тёплого периода года: а – сечение по вертикальной плоскости, проходящей через ось сооружения, б – распределение температуры по глубине на момент окончания тёплого периода года вне зоны малого инженерного сооружения, 1 – грунты основания насыпи (площадки), 2 – естественная поверхность грунта, 3 – поверхность площадки, 4, 5 – соответственно корпус и фундамент малого инженерного сооружения, 6 – положение нулевой изотермы на момент окончания тёплого периода года, 7 - желательное положение изотермы после возведения сооружения

При расчёте температурного режима грунтов основания в конкретной местности следует учитывать солнечную радиацию и поправку на глобальное потепление. В работе [1] для всех пяти регионов сделано обоснование расчётных температур с учётом указанных выше поправок для диапазона температур от минус 9 °С до плюс 1 °С. Эти данные приведены в таблице 1.4.

Содержание п. 2 очень важно: если не обеспечена общая тепловая стабильность площадки (насыпи), то стабильность отдельного малого инженерного сооружения практически обеспечена быть не может.

На основании материалов, изложенных выше, можно поставленную задачу сформулировать следующим образом:

1) определить для сформулированных условий тепловое влияние малых инженерных сооружений на грунты основания при отсутствии мероприятий по охлаждению;

2) подобрать мероприятия по охлаждению грунтов, компенсирующие вредное влияние по п. 1;

3) подобрать мероприятия по обеспечению стабильности малых инженерных сооружений при существующей глубине сезонного протаивания в пределах земляного полотна (площадки);

4) разработать принципиальные схемы конструктивного исполнения предложенных мероприятий.

Для наглядности результатов анализа прямоугольник в плане сооружения заменим кругом. При этом расчётная схема приобретает вид, изображённый на рис. 8.3: в зоне 1 радиусом R_1 расположено сооружение. На остальной территории с граничными условиями 2 создаются условия, обеспечивающие на глубине 10 м температуру минус 0,5 °С (по принятым предпосылкам о необходимости обеспечить тепловую стабильность

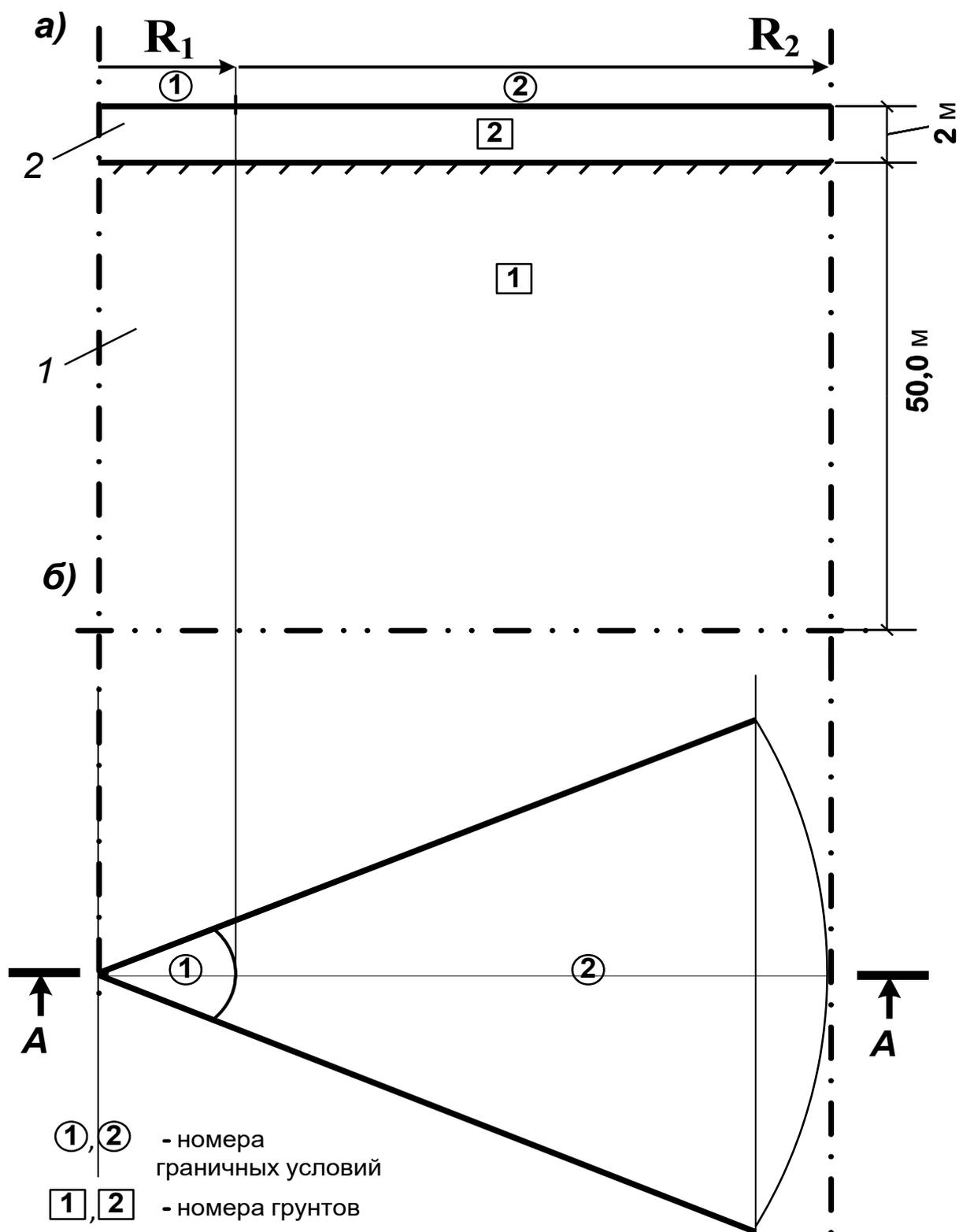


Рисунок 8.3 - Расчётная схема для определения теплового влияния малого инженерного сооружения на грунты площадки и её основания: а – сечение А-А, б – план, 1 – грунт основания, 2 – площадка, R_1 – зона малого инженерного сооружения площадки.

площадки отдельно от малого инженерного сооружения. В связи с тепловой симметрией для расчёта вырезаем область, равную одному радиану.

8.3. Температурный режим грунтов оснований

Если малое сооружение, где круглый год держится положительная температура, разместить непосредственно на грунте основания, то неизбежно формирование чаши протаивания (рис. 8.4). При наличии просадочных грунтов основания, а это практически неизбежно, происходят просадки грунта и, как следствие, деформации сооружения. Наличие теплоизоляции под сооружением в виде, например, пенополистирола толщиной 5 см не спасает положения (рис. 8.5). Требуется либо резко увеличить теплоизоляцию, либо искать другое решение.

Если сформировать полость между поверхностью грунта и низом малого инженерного сооружения и дополнительно положить теплоизоляцию, то происходит резкое поднятие нулевой изотермы (рис. 8.6).

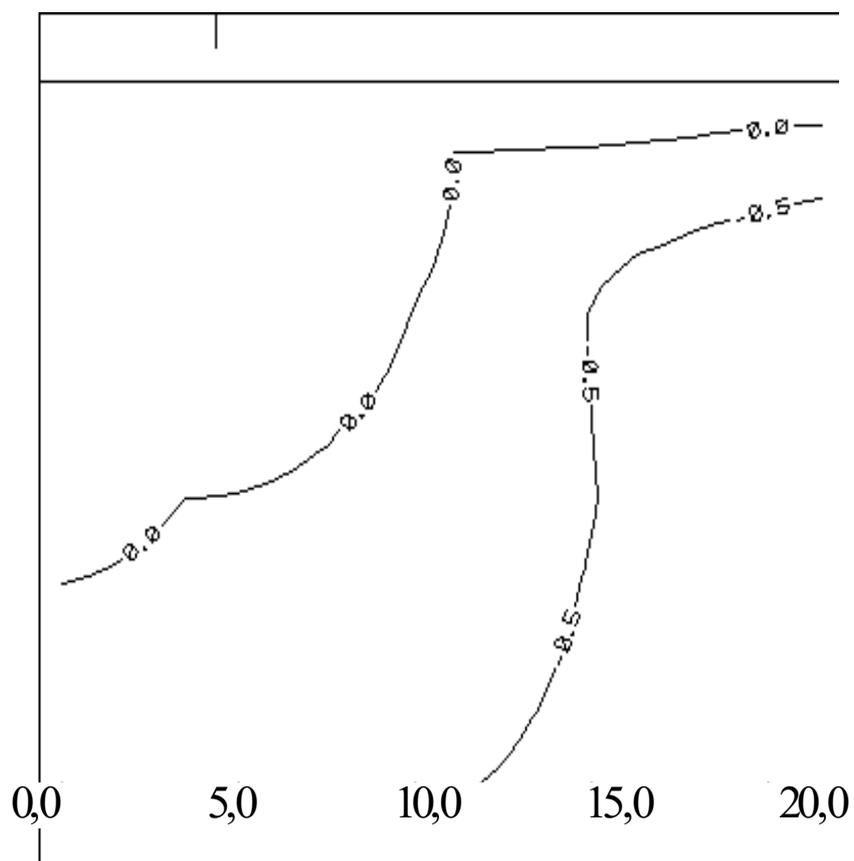


Рисунок 8.4 - Температурное поле на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установившемся режиме. Радиус малой (внутренней) зоны 5,0 м

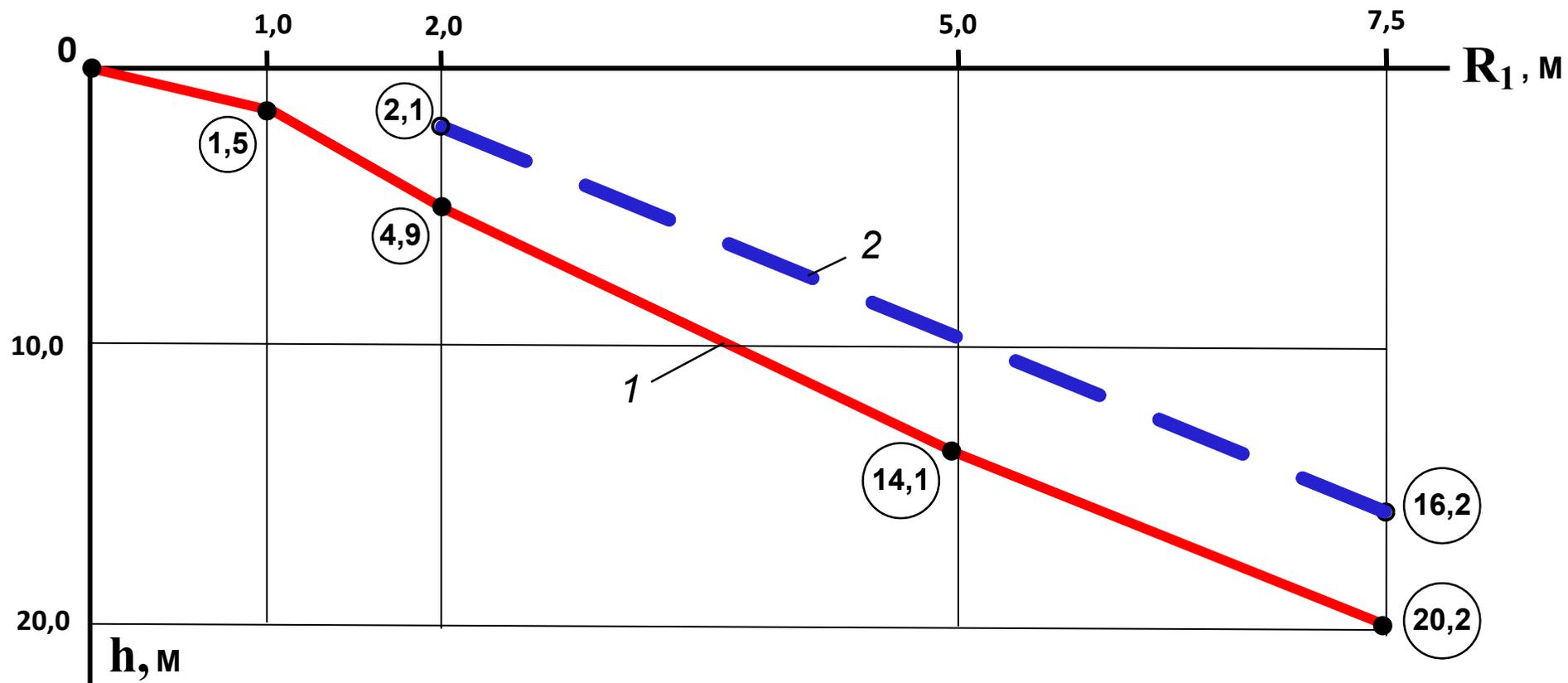


Рисунок 8.5 - Зависимость глубины « h » дополнительного протаивания под центром малого инженерного сооружения от его радиуса « R_1 »: 1 – без теплоизоляции, 2 – с теплоизоляцией в виде пенополистирола толщиной 5 см

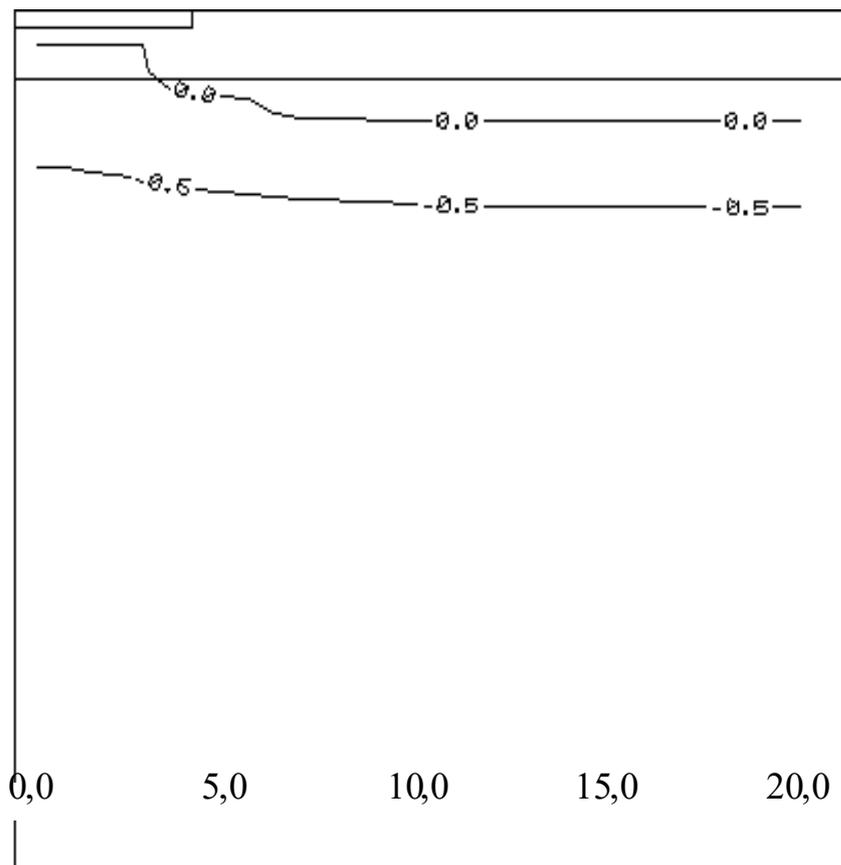


Рисунок 8.6 - Температурное поле на момент окончания жаркого лета (1 октября). Радиус малой (внутренней) зоны 5.0 м, теплоизоляция 10.0 см в пределах внутреннего радиуса. Первая группа

9. ВОДОПРОПУСКНЫЕ ТРУБЫ

9.1. Общие положения

Существует много различных индивидуальных решений водопропускных труб (например, [17,18]), сооружаемых на вечной мерзлоте, где эффективность определяется применением теплоизоляции. В данной главе будут охарактеризованы некоторые общие принципы.

Следует отметить, что в составе общего технического решения водопропускной трубы имеются фильтрующие элементы (фильтрующие оголовки, фильтрующая прослойка под телом трубы, сочетание фильтрующей прорези с водопропускной трубой и т.п.). Для упорядочивания форм этих элементов и увеличения эффективности рекомендуется применение габионов, в том числе в сочетании с теплоизоляцией.

9.2. Насыпи в зоне водопропускной трубы

Водопропускная труба в теле насыпи формирует дополнительную зону граничных условий и может иметь растопляющее или охлаждающее влияние в зависимости от характера снежных отложений. В регионах I, II, III происходит занос оголовков снегом, поэтому в зимний период холод в полость трубы не поступает (рис. 9.1,б), в то время как в летний период (рис. 9.1,а) трубы свободно продуваются. В регионе V наоборот, снегоотложение в полости трубы отсутствует (рис. 9.2), и температура воздуха в трубе равна практически температуре наружного воздуха.

В результате после проведения расчетов можно сформулировать следующие положения.

Расчетный температурный режим для насыпи в зоне трубы рекомендуется определять по главе 20 Рекомендаций [1] и по главе 11 данных рекомендаций как для насыпи без трубы. При этом расчетную температуру наружного воздуха в табл.1 для объекта принимать как условную « t_y » При этом

$$t_y = t_p + \Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (9.1)$$

где Δt равно $+1,0^\circ\text{C}$, 0°C , $-2,0^\circ\text{C}$ соответственно для регионов V,IV,I÷III.

Пример. Объект расположен в регионе V. По расчетам t_p равна минус $2,0^\circ\text{C}$. В связи с охлаждающим влиянием водопропускной трубы в регионе V определение охлаждающих мероприятий производим не для t_p , а для t_y

где

$$t_y = -2,0^\circ\text{C} + 1,0^\circ\text{C} = -1,0^\circ\text{C}.$$

а)



б)



Рисунок 9.1 - Характер снеготаносимости водопропускной трубы на железнодорожной линии Обская-Бованенково (регион III): а,б - вид трубы соответственно в сентябре и апреле после расчистки русла для пропуска весенних вод

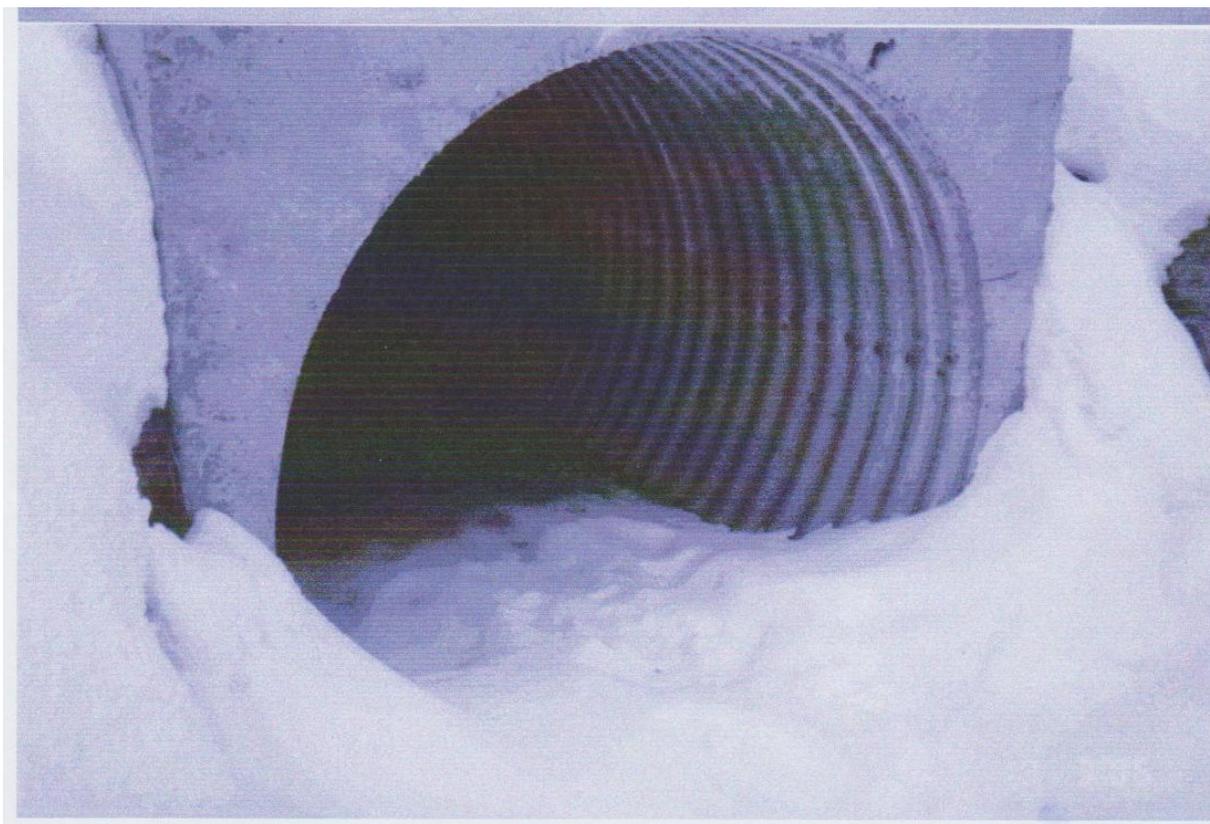


Рисунок 9.2 - Характер снеготаносимости в Центральной Якутии в зоне оголовка водопропускной трубы

9.3. Зона оголовка водопропускной трубы в регионах с сильным снегопереносом [19]

Чтобы избежать растепляющего влияния снежных отложений, а также избежать затрат на искусственную расчистку русла для пропуска весенних вод (рис. 9.1,б), при которой имеется опасность механического повреждения оголовка, отсыпают площадку из камня и устраивают переходную поперечную или продольную трубу с отверстиями (рис. 9.3) для сбора фильтрующейся сквозь каменную наброску воды. Такую же конструкцию устраивают со стороны выходного оголовка.

Описанная выше конструкция является охлаждающей площадкой и одновременно водопропускным сооружением. Вода проходит сквозь фильтрующий массив, попадает в поперечную (продольную) водосборную трубу, далее по полости водопропускной трубы переходит в низовую сторону, попадает в водосборную трубу, далее через фильтрующий массив выходного оголовка уходит в русло водотока.

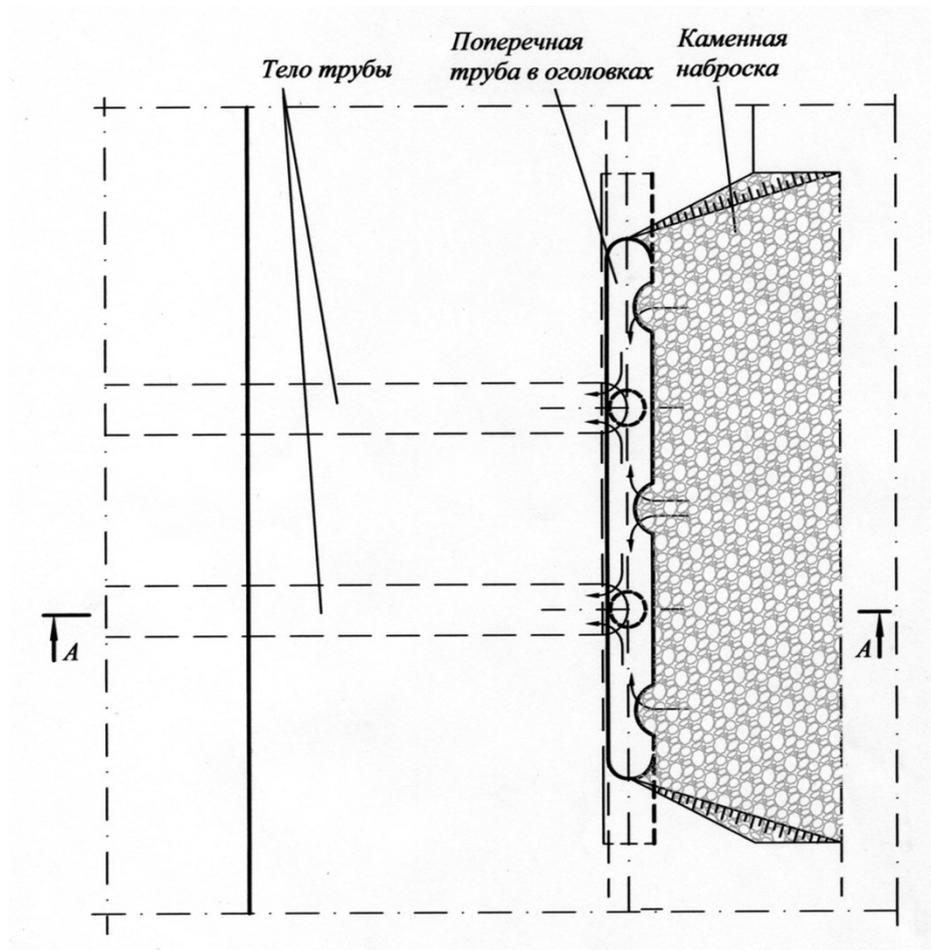
Тепловые особенности охлаждающей площадки следующие. Если принять за поверхность граничного условия естественную поверхность грунта, то в летний период вода протекает по этой поверхности, и термическое сопротивление стремится к нулю. В зимний период тепловой поток проходит сквозь тело каменной наброски, т.е. каменная наброска является термическим сопротивлением по отношению к естественной поверхности грунта. Возникает случай аналогичный случаю снежных отложений. Выход из положения определяется тремя составляющими:

- укладкой теплоизоляции непосредственно под естественную поверхность грунта. Это снижает соотношение зимнего и летнего термических сопротивлений. Рекомендуется 5 см независимо от региона;
- улучшением качества каменной наброски - применять не просто скальный грунт, а сортированный камень. Сверху рекомендуется осуществить гидроизоляционное покрытие;
- защитой боковых частей площадки вертикально расположенной теплоизоляцией мощностью 5 см.

9.4. Откосная охлаждающая площадка

Водопропускная труба расположена в зоне водотока, в пределах русла которого формируется свой температурный режим, который обычно хуже температурного режима окружающей территории: в связи с наличием водного потока летом и повышенных снежных отложений зимой возможны талики. Для ликвидации таликов необходимо глубинное охлаждение термоопорами или термостабилизаторами.

а)



б)

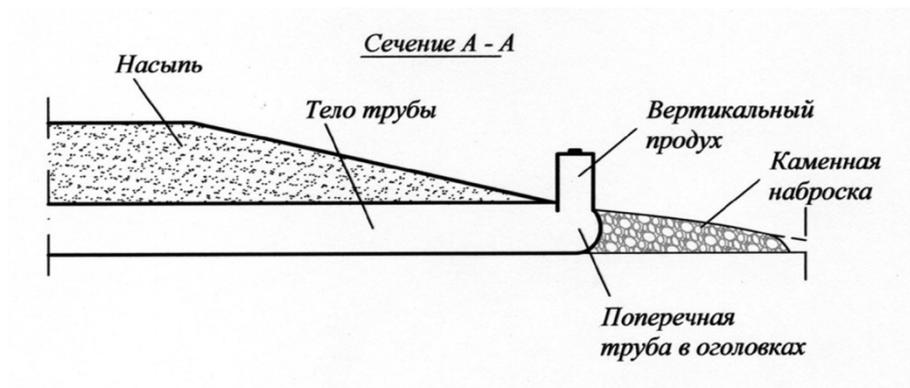


Рисунок 9.3 - Водопрopusкная труба с оголовком в виде поперечной трубы и фильтрующим массивом: а – план, б – сечение А-А

В регионах с сильным снегопереносом в зоне откосов и прилегающей территории формируются мощные снегоотложения, и теплообменники охлаждающих установок расположены в пределах этих снегоотложений, поэтому не работают. Для обеспечения работы глубинных систем охлаждения рекомендуется в регионах I, II, III устраивать откосные охлаждающие площадки (рис. 9.4). Теплоизоляция укладывается в нижней части площадки и прилегающей к подошве откоса территории шириной до 5 м. Мощность теплоизоляции 10 см.

9.5. Зона тела трубы

При наличии под телом трубы просадочных при оттаивании грунтов рекомендуется укладывать теплоизоляцию (рис. 9.5). Теплоизоляция укладывается непосредственно под телом трубы (рис. 9.5,б), если нет фильтрующей прослойки, и под фильтрующей прослойкой (рис. 9.5,в), если таковая имеется. Вынос теплоизоляции за пределы трубы в продольном (рис. 9.5,а) и в поперечном направлении (рис. 9.5,б,в) рекомендуется делать не меньше 1,0 м. При этом в случае фильтрующей прослойки обязательны вертикальная или наклонная составляющая теплоизоляции (рис. 9.5,в).

Рекомендуемая мощность теплоизоляции – 5 см в регионах I, II, и 10 см в регионах III, IV, V.

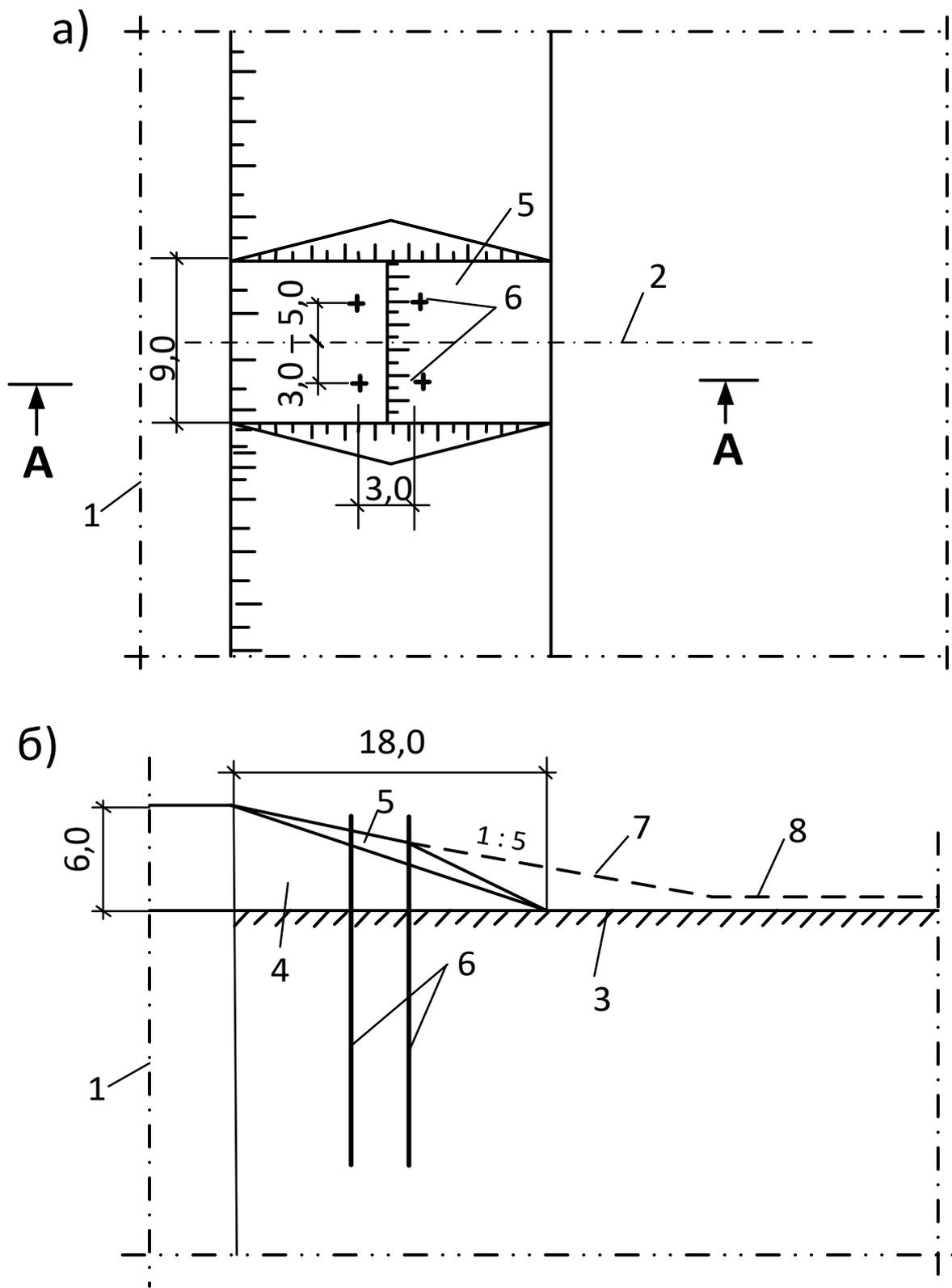


Рисунок 9.4 - Откосная охлаждающая площадка в зоне водопропускной трубы:
 а – план, б – сечение А-А, 1 – ось насыпи, 2 – ось водопропускной
 трубы, 3 – естественная поверхность грунта, 4 – тело насыпи, 5 –
 тело площадки, 6 – термостабилизаторы, 7 – снежные отложения
 соответственно в зоне трубы и на ненарушенной территории

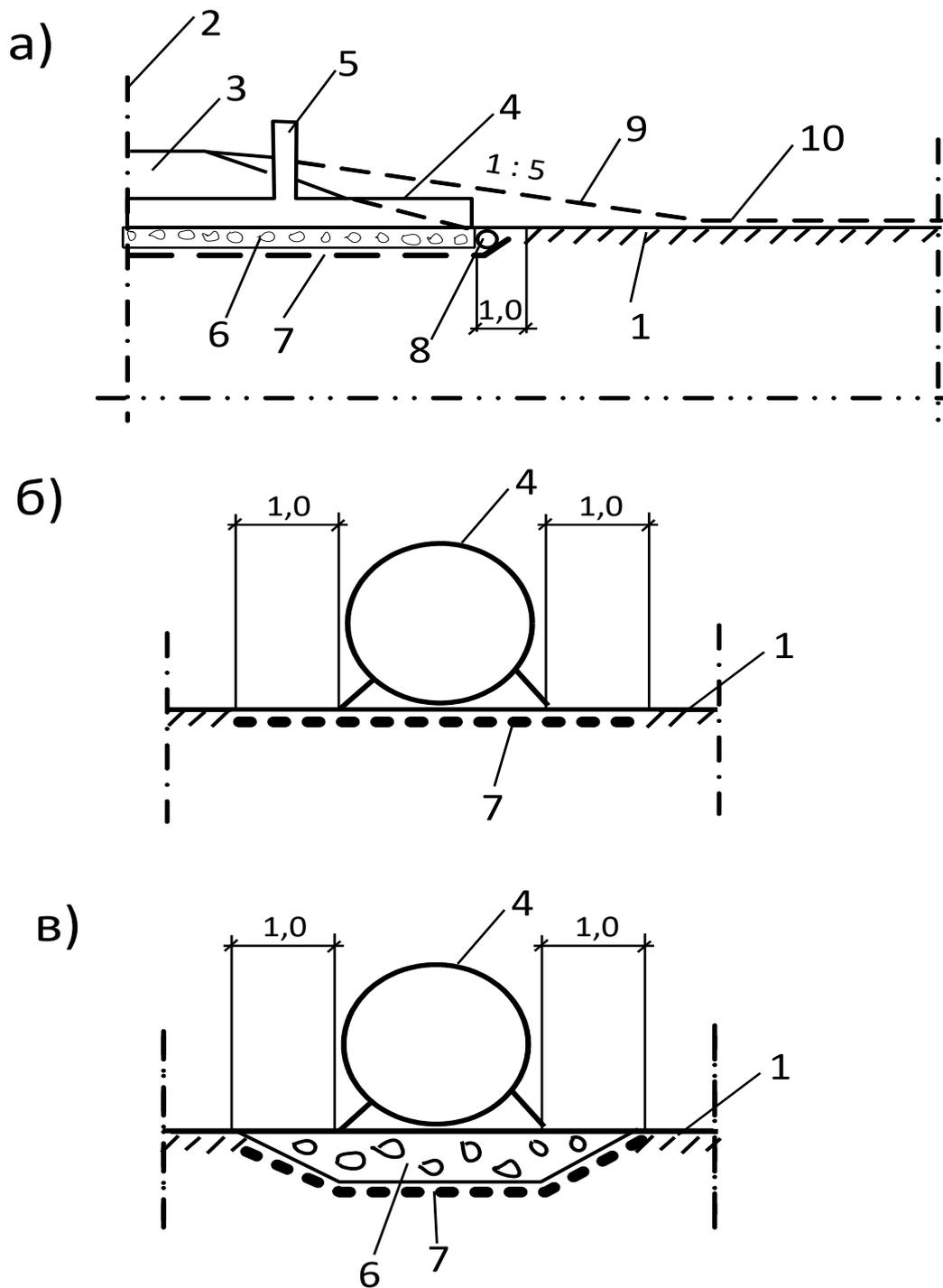


Рисунок 9.5 - Принципиальная схема расположения термоизоляции в зоне тела трубы: а – разрез трубы по продольной оси, б,в – схемы расположения теплоизоляции соответственно без фильтрующей прослойки и с фильтрующей прослойкой, 1 – естественная поверхность грунта, 2 – ось насыпи, 3 – тело насыпи, 4 – тело водопропускной трубы, 5 – охлаждающий продух, 6 – фильтрующая прослойка, 7 – теплоизоляция, 8 – поперечная труба (лоток) – водосборник, 9,10 – снежные отложения соответственно в зоне трубы и в ненарушенной зоне.

Ч А С Т Ь Ш

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЧЁТУ ОСОБЕННОСТЕЙ

ЗОНЫ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ.

10. ОХЛАЖДАЮЩИЕ ПЛОЩАДКИ

10.1. Общие положения

Охлаждающие площадки разрабатываются уже более 30 лет. В конце 80-х гг. ЦНИИСом и Ленгипротрансом были предложены уширенные площадки для устоев мостов (раздел 7.2). Они были применены на ряде мостов ж.д. линии Обская-Бованенково. Многолетние наблюдения за температурным режимом грунтов оснований показали эффективность площадок и целесообразность дальнейшего их внедрения. Далее был предложен еще целый ряд технических решений. В 2020 г. была предложена схема откосной площадки для насыпи фирмами ООО «ТР Инжиниринг» и ООО «ЦЛИТ». Организован натурный эксперимент на ж.д. линии Надым-Н. Уренгой. Натурные наблюдения, которые ведутся до настоящего времени, также показали эффективность данного технического решения. На ряд технических решений получены патенты. Рекомендации по применению сформулированы в нормативно-рекомендательных документах [20,21].

В настоящее время предложено 13 технических решений охлаждающих площадок. Разработка продолжается. Определилась целесообразность классификации площадок. Данная система является открытой, т.е. налицо возможность дальнейшего развития. На рис. 10.1 представлена классификация охлаждающих площадок. Всего выявлено 5 видов:

- центральные поверхностные площадки;
- боковые поверхностные площадки;
- отдельные поверхностные площадки;
- фильтрующие поверхностные площадки.

В каждом виде от одного до пяти различных технических решений.

На рис. 10.2 представлены принципиальные схемы охлаждающих площадок. Ниже, в данной главе в разделах 10.2-10.6 будут эти виды охарактеризованы. При этом будет представлено:

- новый индекс и название, старое название и их сокращенное обозначение. В ряде случаев удобно использовать старое название, поскольку оно упоминается в научных статьях, нормативных документах и др. источниках. В то же время когда мы определяем место конкретной площадки в общей системе, необходимо иметь новое название и индекс по классификации;
- ссылки на позицию рис. 10.2 и на рисунок в других главах данных Рекомендаций, где более подробно изображена схема;
- ссылки на патенты и др. источники, где более подробно представлена характеристика площадки;

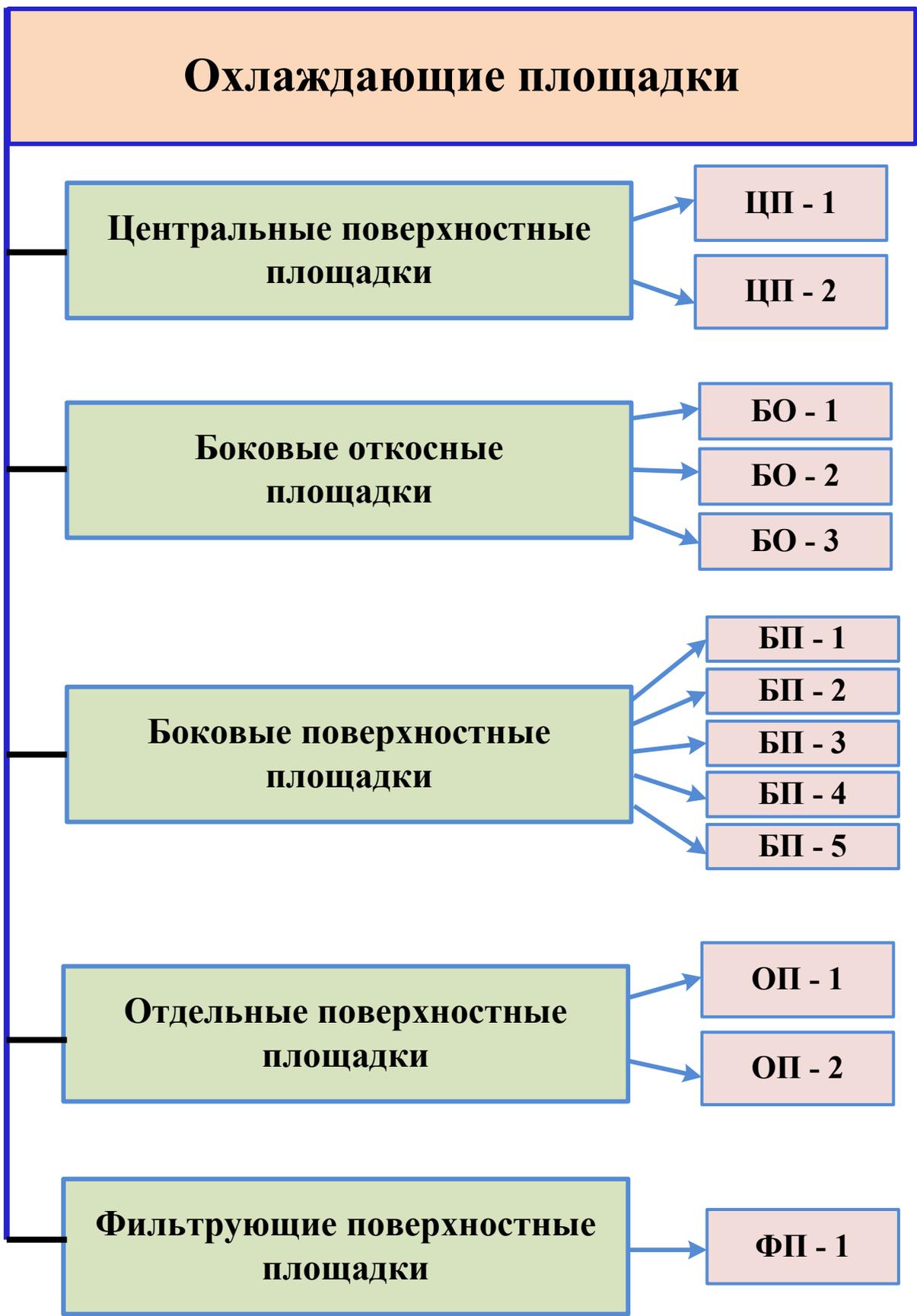


Рисунок 10.1 - Классификация охлаждающих площадок

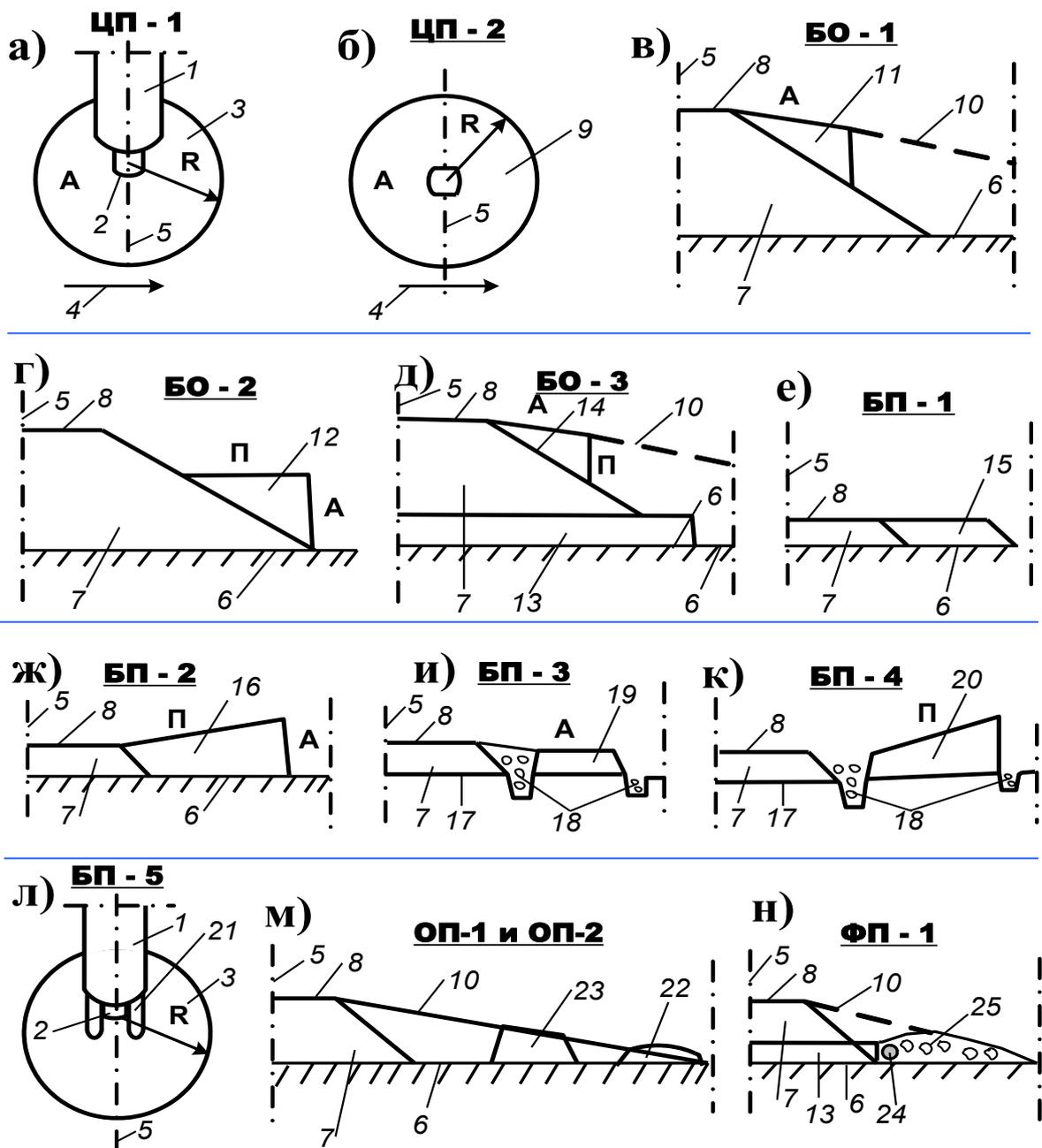


Рисунок 10.2 - Принципиальная схема охлаждающих площадок: 1 – подходная часть насыпи, 2 - устой моста, 3 – охлаждающая площадка ЦП-1, 4 – направление русла водотока, 5 – ось дороги, 6 – естественная поверхность грунта, 7 – тело насыпи, 8 – основная площадка насыпи, 9 – охлаждающая площадка ЦП-2, 10 – поверхность снежных отложений, 11 – охлаждающая площадка БО-1, 12 - охлаждающая площадка БО-2, 13 – водопропускная труба, 14 - охлаждающая площадка БО-3, 15, 16 - охлаждающие площадки БП-1 и БП-2, 17 – поверхность грунта выемки, 18 – кювет, 19, 20, 21, 22, 23 – охлаждающие площадки БП-3, БП-4, БП-5, ОП-1, ОП-2, 24 – поперечная водосборная труба, 25 – охлаждающая площадка ФП-1.

- объект применения (насыпь, выемка, мост, водопропускные трубы).
Возможность дублирующего использования площадки (например, дорога);

- конструкция и размеры. В общем случае площадка содержит основание, боковую и внешнюю поверхности. Основание может быть совмещено с естественной поверхностью грунта (поверхностные площадки) или совмещено с откосом насыпи или выемки (откосные площадки). Боковая поверхность – вертикальная (с помощью бетонной или габионной стены) или с откосом, верхняя поверхность – либо горизонтальная, либо с небольшим уклоном (в соответствии с уклоном снежных отложений или с учетом стока дождевых вод);

- назначение. Основное назначение охлаждающих площадок – заменить снегозаносимую поверхность двумя составляющими: оголенной от снега поверхностью и заносимой снегом поверхностью, но более удобной для расположения теплоизоляции, диодов и глубинных охлаждающих систем. Первая поверхность называется активной и на рис. 10.2 обозначается буквой «А», вторая поверхность называется пассивной и обозначается на рис. 10.2 буквой «П». Второе назначение – обеспечить условия для расположения в обеих составляющих вышеуказанных мероприятий.

10.2. Центральные поверхностные площадки

Центральная поверхностная площадка ЦП-1 [11,12,20,21].

Существующее название: уширенная площадка для устоя моста. Принципиальная схема представлена на рис. 10.2,а, более подробно – на рис. 7.1.

Площадка отсыпается непосредственно на естественную поверхность грунта высотой не менее высоты максимальных снежных отложений в ненарушенной территории. Теоретическое очертание в плане – круговое очертание радиусом «R», определяемого по ф. (7.1). Центр круга – в центре устоя моста. С учетом местных условий возможны отклонения от кругового очертания, при этом средний радиус «R» остается прежним с учетом зависимости по ф. (7.2).

Применение теплоизоляции целесообразно в двух ее частях (см. раздел 7.2):

- на верхней поверхности площадки;
- в зоне откосов и прилегающей к подошве откосов территории.

В связи с наличием водотока крепление откосов целесообразно осуществлять не свободным каменным мощением, а габионной стенкой.

Основной назначение площадки – обеспечить использование возможностей поверхностного охлаждения для формирования расчетного температурного режима грунтов оснований.

Центральная поверхностная площадка ЦП-2 [20,21,22].

Существующее название: уширенная площадка для промежуточной опоры моста. Принципиальная схема приведена на рис. 10.2,б, более подробно – на рис. 7.5.

Остальные параметры характеристики см. в описании площадки ЦП-1.

10.3. Боковые откосные площадки

Боковая откосная площадка БО-1 [1,24,26].

Существующие названия: боковая откосная охлаждающая площадка насыпи (БОН), верхняя откосная охлаждающая площадка. Принципиальная схема представлена на рис. 10.2,в, более подробно – на рис. 3.1.

Площадка применяется в насыпи в регионах с сильным снегопереносом.

Площадка примыкает к верхней части откоса насыпи и имеет треугольное поперечное сечение. Основание совпадает с поверхностью откоса насыпи, верхняя поверхность имеет уклон снежных отложений, а боковая поверхность может быть выполнена вертикальной [24] или наклонной [26]. Длина площадки равна длине участка насыпи, где эта площадка необходима для обеспечения требуемого температурного режима.

Применение теплоизоляции целесообразно в двух частях площадки:

- на верхней поверхности для уменьшения глубины сезонного протаивания;
- на боковой поверхности и смежной с ней снизу поверхности откоса для снижения соотношения зимнего и летнего термических сопротивлений на поверхности, что приводит к появлению охлаждающего эффекта.

Основное назначение площадки:

- оголить от снега верхнюю поверхность для создания охлаждающего эффекта:
- сконцентрировать снежные отложения в зоне боковой поверхности, где с ними удобнее бороться. Таким образом верхняя зона - активная (А), а боковая - пассивная (П).

В верхней части площадки могут быть эффективно применены габионы – диоды, существенно увеличивающие охлаждающий эффект.

Боковая откосная площадка БО – 2 [1,4,50].

Существующее название: ступенчатая поверхность откоса. Принципиальная схема представлена на рис. 10.2, г, более подробно – на рис. 2.2 и рис. 2.3.

Площадка применяется в насыпи и в выемке в регионах с отсутствием снегопереноса.

Площадка примыкает к любой части откоса насыпи или выемки. На протяжении откоса может быть одна или несколько площадок. Основание совпадает с поверхностью откоса насыпи, верхняя поверхность - горизонтальная (может быть с небольшим уклоном для стока дождевых вод). Боковая поверхность выполнена с крутым уклоном, стремящимся к вертикальному. Длина площадки равна длине участка насыпи, где эта площадка необходима для обеспечения требуемого температурного режима.

Применение теплоизоляции целесообразно в двух частях площадки:

- на верхней поверхности для снижения соотношения зимнего и летнего термических сопротивлений на поверхности;
- на боковой поверхности для уменьшения глубины сезонного протаивания.

Основное назначение площадки:

- оголить от снега боковую поверхность для создания охлаждающего эффекта;
- сконцентрировать снежные отложения на верхней поверхности, где с ними удобно бороться. Таким образом, верхняя зона пассивная (П), а боковая – активная (А).

Боковая откосная площадка БО-3.

Других названий нет. Принципиальная схема представлена на рис. 10.2,д, более подробно - на рис. 9.4.

Площадка практически полностью повторяет конструкцию БО-1. Основное отличие заключается в ее длине: она расположена в насыпи только на длине зоны трубы, т.е. над самой трубой и 4-5 м от оси трубы (или от оси крайней трубы при количестве труб более одной) в каждую сторону. Поэтому в площадке появляется две торцевые поверхности, которые должны быть защищены теплоизоляцией.

10.4. Боковые поверхностные площадки

Боковая поверхностная площадка БП-1 [29].

Существующее название: боковая поверхностная охлаждающая площадка БПН. Принципиальная схема представлена на рис. 10.2,е, более подробно - на рис. 5.5.

Площадка применяется в насыпи высотой до 2,0 м в регионах с сильным снегопереносом.

Площадка отсыпается рядом с насыпью, высота равна высоте насыпи. Длина площадки равна длине участка насыпи, где эта площадка необходима

для обеспечения требуемого температурного режима. Ширина площадки определяется расчетом.

Применение теплоизоляции целесообразно на всей ширине площадки на глубине примерно 0,5 м.

Основное назначение – оголить от снега поверхность, чтобы обеспечить охлаждающий эффект.

Боковая поверхностная площадка БП-2 [28].

Существующее название: боковая поверхностная охлаждающая площадка БПН. Принципиальная схема представлена на рис. 10.2,ж, более подробно – на рис. 5.2.

Площадка применяется в насыпи высотой до 2,0 м в регионах с отсутствием снеготранспорта.

Площадка отсыпается рядом с насыпью. Внешняя боковая поверхность вертикальная и по высоте превышает высоту самой насыпи. Верхняя поверхность является наклонной. Длина площадки равна длине участка насыпи, где эта площадка необходима для обеспечения требуемого температурного режима. Для отвода дождевых и талых вод в площадке по длине делаются разрывы.

Ширина площадки определяется, во-первых, высотой внешней боковой поверхности (чтобы угол наклона верхней поверхности был примерно 20°), и, во-вторых, размерами поверхности, необходимой для отложения снега с учетом расчистки основной площадки.

Применение теплоизоляции целесообразно на верхней поверхности для снижения соотношения зимнего и летнего термических сопротивлений на поверхности и на внешней боковой для уменьшения глубины сезонного протаивания.

Основное назначения площадки:

- оголить от снега внешнюю боковую поверхность для создания охлаждающего эффекта;
- обеспечить пространство для отложений снега в результате расчистки земляного полотна.

Боковая поверхностная площадка БП- 3.

Существует название: боковая поверхностная охлаждающая площадка БПН.

Принципиальная схема представлена на рис. 10.2,и, более подробно – на рис. 6.5 и рис. 6.6.

Площадка применяется в выемке глубиной до 2,0 м в регионах с сильным снеготранспортом.

По всем основным параметрам площадка повторяет площадку БП-1, кроме наличия водоотводных кюветов, заполненных камнем.

Боковая поверхностная площадка БП- 4 [7].

Существующее название: боковая поверхностная охлаждающая площадка БПН. Принципиальная схема представлена на рис. 10.2,к, более подробно – на рис. 5.2.

Площадка применяется в выемке глубиной до 2,0 м в регионах с отсутствием снегопереноса.

По всем основным параметрам площадка повторяет площадку БП-2, кроме наличия водоотводных кюветов, заполненных камнем.

Боковая поверхностная площадка БП -5 [13].

Существующее название: боковая конусная охлаждающая площадка моста. Принципиальная схема представлена на рис. 10.2,л, более подробно – на рис. 7.7.

Площадка применяется в зоне устоя моста в регионах с сильным снегопереносом.

Площадка отсыпается на уширенную площадку (ЦП-1) по бокам пролетного строения.

Основное назначение площадки – заменить мощный надув снега по бокам пролетного строения грунтовым массивом, что заменяет растепляющий эффект этой зоны на мощный охлаждающий.

10.5. Отдельные поверхностные площадки

Отдельная поверхностная площадка ОП-1 [1, 25].

Существующее название: нижняя боковая охлаждающая площадка насыпи. Принципиальная схема представлена на рис. 10.2.м. более подробно на рис. 4.1 и рис. 4.2.

Площадка применяется для насыпей, расположенных в регионах с сильным снегопереносом.

Площадка отсыпается в зоне снежных отложений на контакте с ненарушенной зоной. Возможно использование некондиционных местных грунтов. Специального уплотнения не требуется. Ширина площадки – несколько метров (по теплофизическому расчету). Высота площадки равна высоте снежных отложений. Длина площадки равна длине участка насыпи, где эта площадка необходима для обеспечения требуемого температурного режима. Применение теплоизоляции позволяет уменьшить глубину сезонного протаивания.

Основное назначение – оголить от снега верхнюю поверхность для создания охлаждающего эффекта. Кроме того площадка может быть использована для устройства автодороги.

Отдельная поверхностная площадка ОП-2.

Существующее название: отдельная промежуточная охлаждающая площадка (ОПП). Принципиальная схема представлена на рис. 10.2,м, более подробно – на рис. 4.1 и рис. 4.2.

Площадка практически повторяет конструкцию и назначение площадки ОП-1, но в отличие от неё устраивается в зоне максимальных снежных отложений, поэтому более высокая и требует обязательного устройства теплоизоляции на боковых поверхностях.

10.6. Фильтрующие поверхностные площадки

Фильтрующая поверхностная площадка ФП-1 [10,19,15,17].

Принципиальная схема представлена на рис. 10.2,н, более подробно – на рис. 9.3.

Площадка применяется для водопропускных труб, расположенных в регионах с сильным снегопереносом.

Отсыпается на естественную поверхность грунта из сортированного камня. Верхняя поверхность соответствует высоте максимальных снежных отложений. Теплоизоляция укладывается на уровне естественной поверхности грунта для снижения соотношения зимнего и летнего термических сопротивлений.

Основное назначение – заменить снежные отложения каменной наброской, при этом обеспечить пропуск воды.

11. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАСЫПИЯМ

11.1. 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 III 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 частей I и II 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 работы [1]). 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. 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 работы [1]).

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 термостабилизаторы), 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 работы [1]) с коэффициентом теплопроводности 0,031 ккал/(м·час·град) (глава 3, п. 3.4 работы [1]). 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 работы [1]). На основании этого может быть предложена формула:

$$T = \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right) \cdot \lambda_0, \text{ м}, \quad (11.1)$$

где

T - 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 - охлаждающие площадки с наличием или отсутствием тепловых диодов. Характеристика дана в Части I данных Рекомендаций;

Группа 3 - термоопоры и термостабилизаторы. Характеристика дана в Приложении E Части I Рекомендаций [1];

Группа 4 – габионы-диоды.

Рекомендации сформулированы для следующих среднегодовых температур воздуха: -9,0 °С, -6,0 °С, -4,0 °С, -2,0 °С, 0,0 °С, +1,0 °С. Это температуры воздуха, которые сформируются через 50 лет после постройки с учётом солнечной радиации и глобального потепления (0,05 °С в год). Среднемесячные температуры воздуха для каждого региона приведены в таблице 1.4. При этом начальные температуры воздуха приняты примерно на 3°С ниже.

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

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.

11.2. Пояснения по структуре рекомендаций

Рекомендации сформулированы в виде характеристик отдельных вариантов, каждый из которых содержит предложение по схеме насыпи и комплексу мероприятий для конкретной высоты насыпи, расположенной в конкретном регионе. Для каждого из пяти регионов рассматриваются насыпи высотой 0.5 и 1.5 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 намечены 2-3 зоны, для каждой из которой в таблице 1 рекомендуются соответствующие мероприятия.

В таблице 1 для каждой группы мероприятий предусмотрены 2 или 3 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 «Т» в сантиметрах, приведённой к пенополистиролу XPS ТЕХНОНИКОЛЬ;

охлаждающие площадки (группа 2) отмечается буквой «С» (шириной);

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

габионы-диоды (группа 4) характеризуются заменой тела охлаждающей площадки сортированным камнем на глубину 1,5 м.

Значения основных параметров мероприятий, как уже было отмечено, гарантируют расчётную температуру грунта минус 1,0 °С. 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 °С. то для этой температуры мы получим наличие мероприятий, которые обеспечат температуру грунтов минус 1,0 °С в соответствии с рис. 1. Если по условиям обеспечения несущей способности этого недостаточно, и требуется температура грунта минус 3,0°С, то мероприятия мы определяем по колонке таблицы 1 не минус 2 °С, а 0,0 °С.

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 °С, кроме расчётных температур 0,0 °С и +1,0°С (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 °С, то для насыпи с основной площадкой 10 м мероприятия следует подбирать по колонке таблицы 1 не минус 1,0 °С, а минус 2,0 °С.

11.3. Варианты рекомендуемых конструкций насыпи и мероприятий по стабилизации температурного режима грунтов

В данном разделе представлено 9 вариантов:

- по регионам I, II, III – по 2 варианта;
- по регионам IV, V – по 1 варианту отдельно и 1 варианту – общему для обоих регионов.

Вариант III

Регион I

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 0,5 м.

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

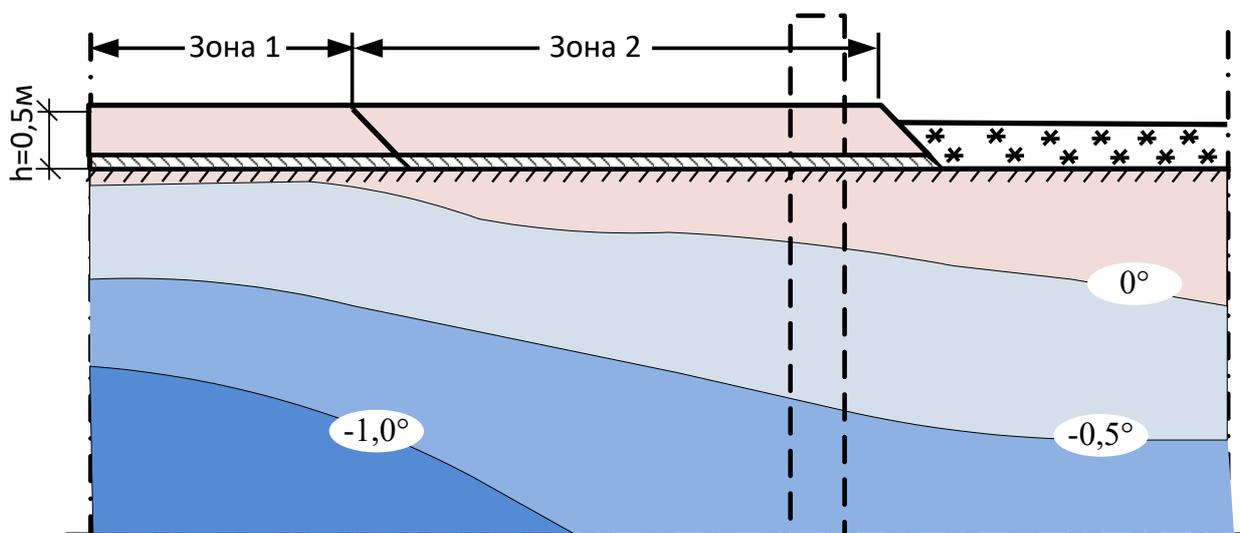


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	15	15	15	15	15	15
	2	5	5	10	10	10	10
Охлаждающая площадка (БПН) С, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	2	2	4	5	5	5
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	15,14	15,12	15,10

Вариант Н2

Регион I

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 1,5 м.

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

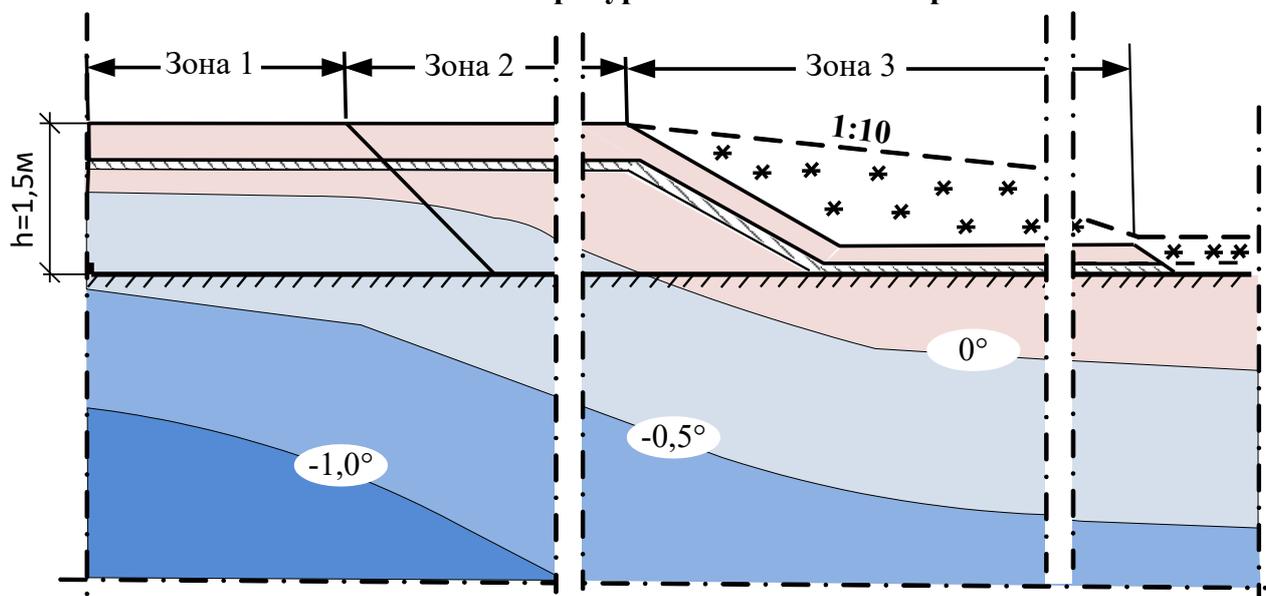


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	10	10	10	10	10	10
	2	5	5	5	5	5	5
	3	5	5	5	5	5	5
Охлаждающая площадка (БПН) С, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	2	2	2	4	4	4
	3	-	-	-	-	-	-
Габионы – диоды (+, -)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	+	+	+	+
	3	-	-	-	-	-	-
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	15,16	15,14	15,12
	3	-	-	-	-	-	-

Вариант НЗ

Регион II

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 0,5 м.

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

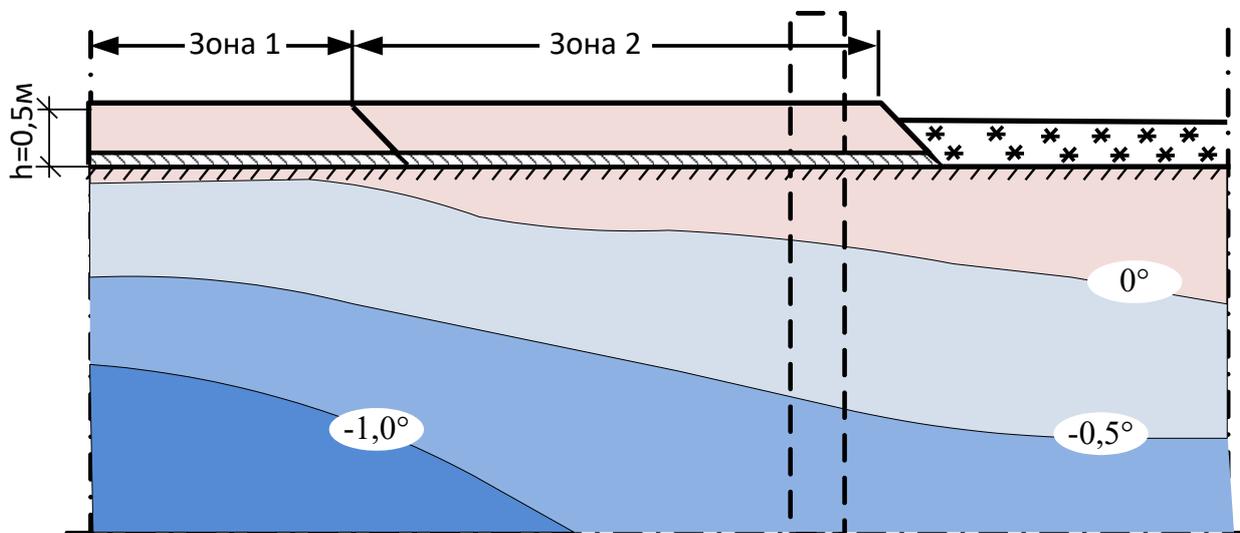


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	15	15	15	15	15	15
	2	5	5	10	10	10	10
Охлаждающая площадка (БПН) С, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	2	2	4	5	5	5
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	15,14	15,12	15,10

Регион II

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 1,5 м.

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

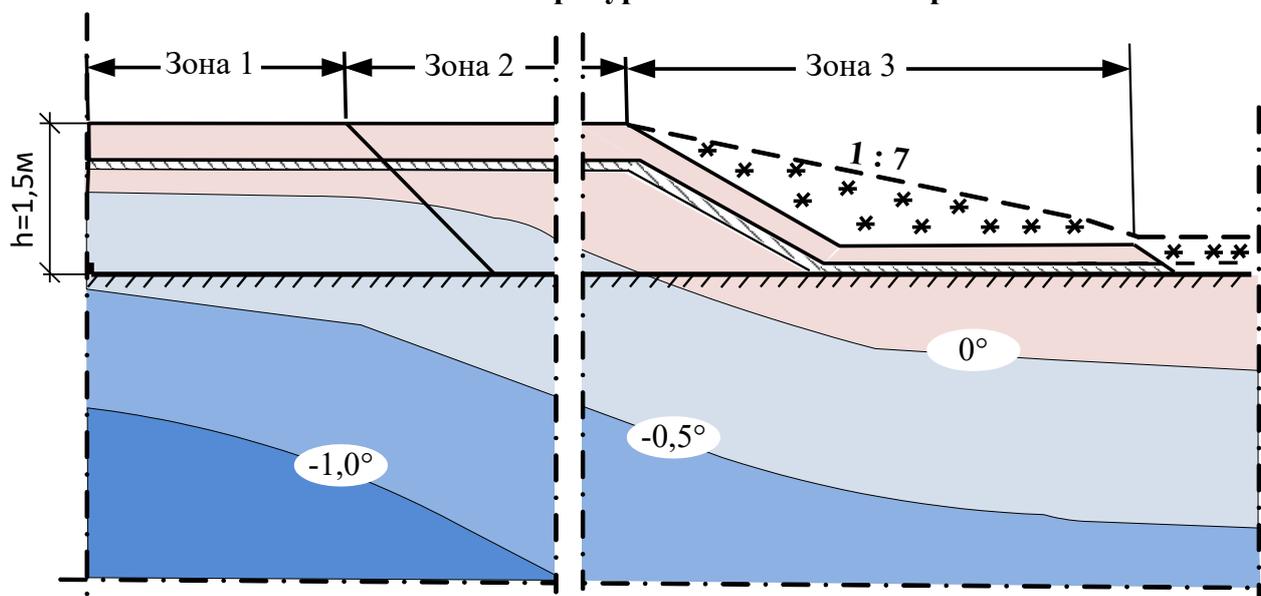


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	10	10	10	10	10	10
	2	5	5	5	5	5	5
	3	5	5	5	5	5	5
Охлаждающая площадка (БПН) С, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	2	2	2	4	4	4
	3	-	-	-	-	-	-
Габионы – диоды (+, -)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	+	+	+	+
	3	-	-	-	-	-	-
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	15,16	15,14	15,12
	3	-	-	-	-	-	-

Регион III

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 0,5 м.

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

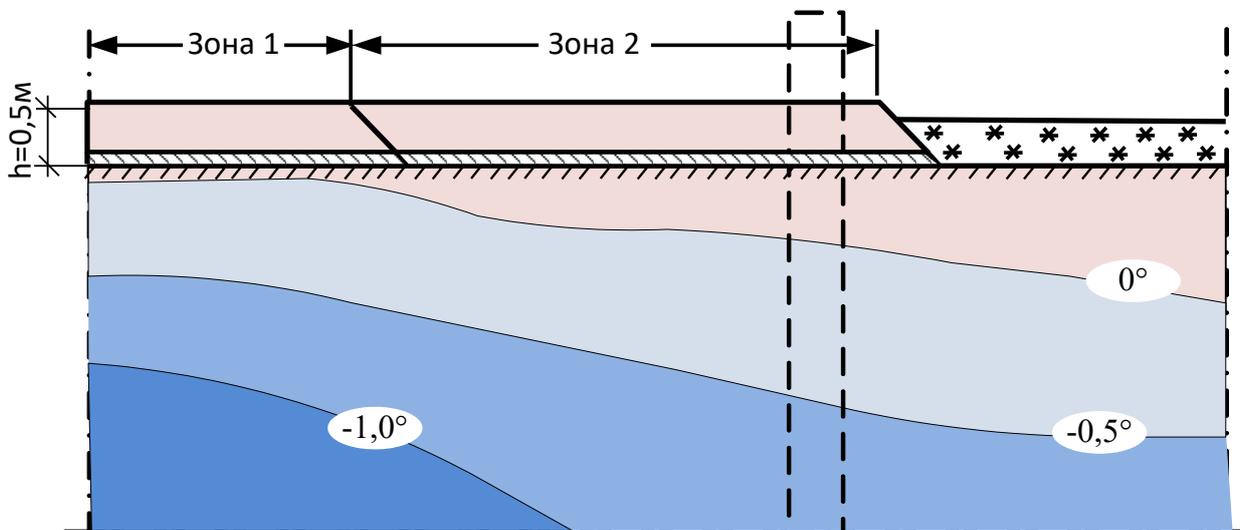


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	15	15	15	15	15	15
	2	5	5	10	10	10	10
Охлаждающая площадка (БПН) С, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	2	2	4	5	5	5
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	15,16	15,14	15,12

Вариант Н6

Регион III

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 1,5 м.

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

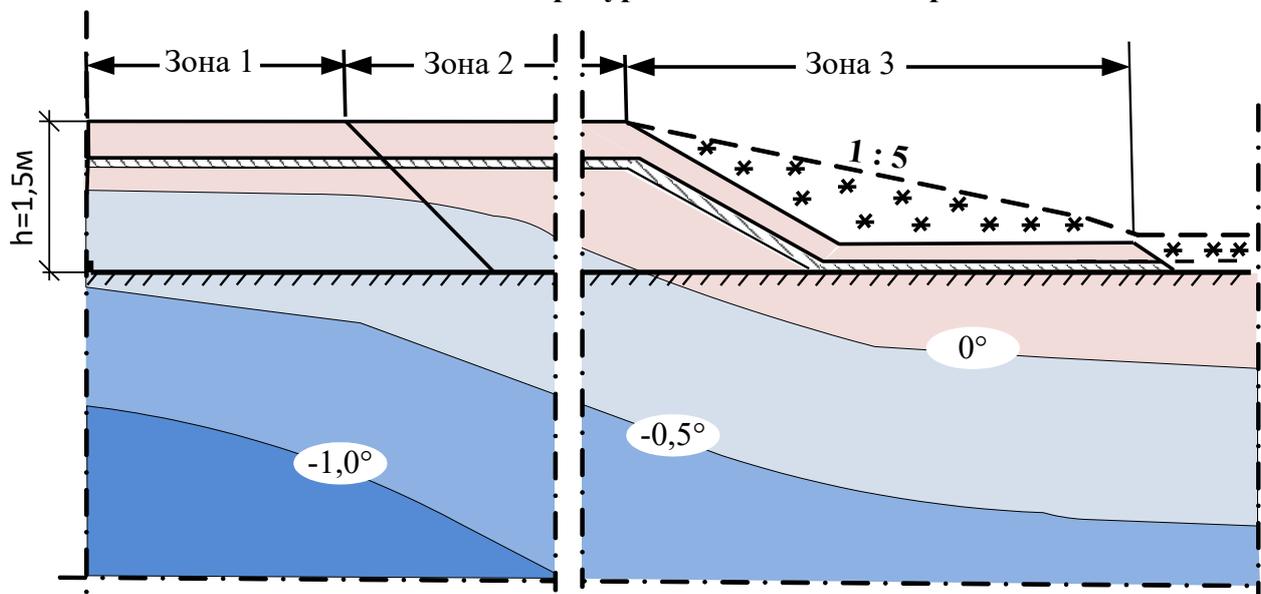


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	10	10	10	10	10	10
	2	5	5	5	5	5	5
	3	5	5	5	5	5	5
Охлаждающая площадка (БПН) С, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	2	2	2	4	4	4
	3	-	-	-	-	-	-
Габионы – диоды (+, -)	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	+	+	+	+
	3	-	-	-	-	-	-
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	15,18	15,16	15,14
	3	-	-	-	-	-	-

Регион IV

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 0,5 м.

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

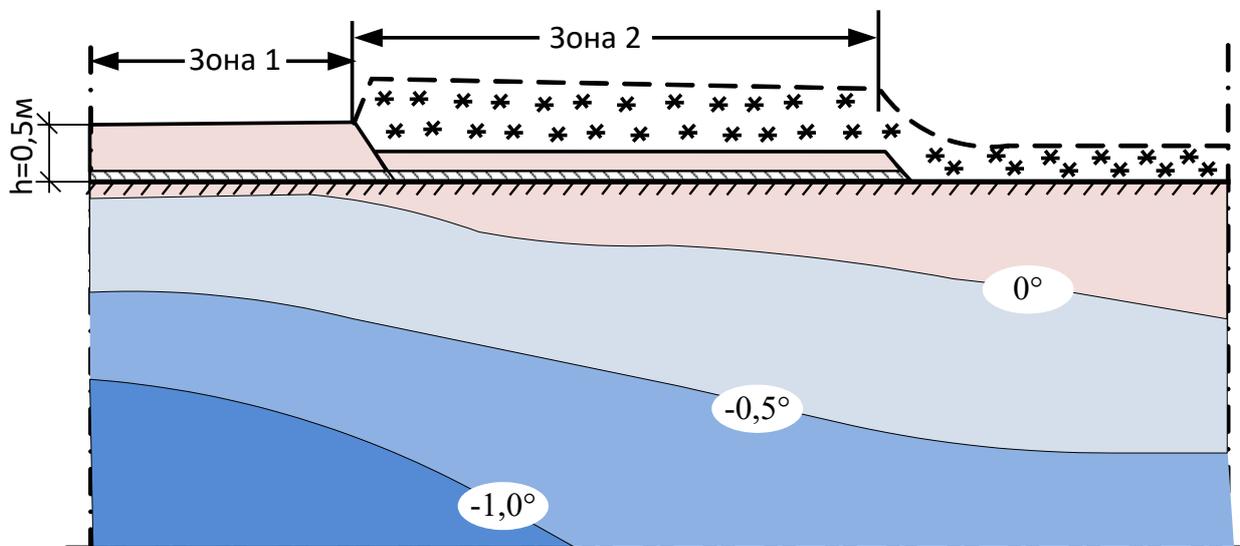


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	15	15	15	15	15	15
	2	5	10	10	10	10	10
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	15,18	15,16	15,14	15,12

Регион V

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 0,5 м.

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

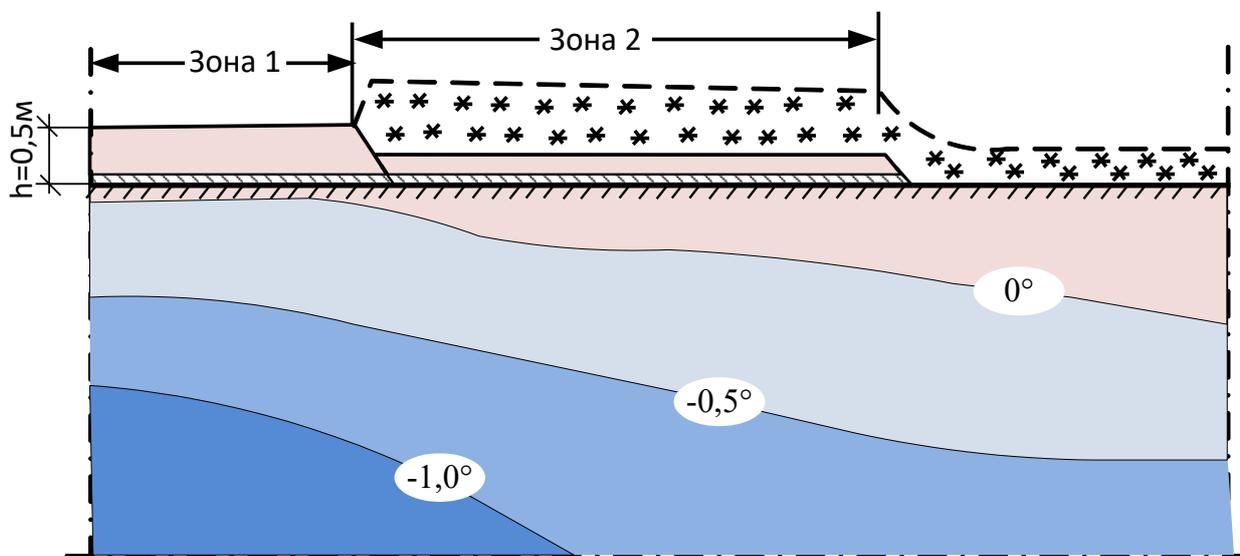


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция T , см	1	15	15	15	15	15	15
	2	5	10	10	10	10	10
Охлаждающая площадка h_b , м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	1	-	-	-	-
Термоопоры (термостабилизаторы) L , В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	15,18	15,16	15,14	15,12

Регионы IV и V

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Насыпь 1,5 м.

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

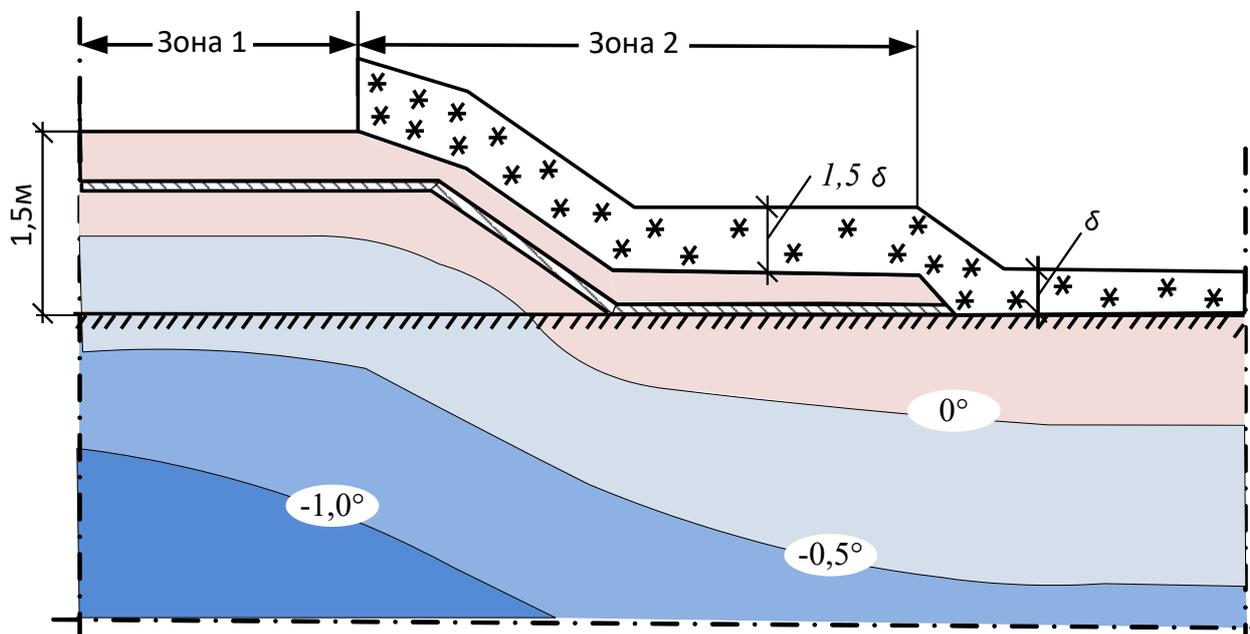


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	10	10	10	10	15	20
	2	5	5	5	5	5	5
Охлаждающая площадка (БПН) hв, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	1	1	-	-	-
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	15,16	15,14	15,12

12. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫЕМКАМ.

12.1 Основные принципы, заложенные в рекомендациях. Пояснения по структуре рекомендаций.

Основные принципы, заложенные в рекомендациях, и их структура в основном соответствуют положениям, изложенным в главе 11 (пп. 11.1 и 11.2), поэтому здесь не повторяются. Особенности этого раздела:

- выемки открытого типа для регионов I, II, III глубиной до 2,0 м по конструкции и по особенностям температурного режима практически повторяют насыпи высотой до 2,0 м этих же регионов. Поэтому для этой группы выемок рекомендуется пользоваться рекомендациями раздела 11.3;

- выемки для регионов I, II, III глубиной от 2,0 м до 6,0 м (т. е. до величины, равной высоте габарита приближения строений) рассмотрены в разделе 12.2. Эти выемки рекомендуется делать тоннельного типа. Выемки глубиной более 6,0 м представляют из себя уже тоннели и рассматриваются в индивидуальном порядке;

- выемки для регионов IV и V рассматриваются в разделе 12.3.

12.2 Варианты рекомендуемых мероприятий по стабилизации температурного режима грунтов для выемок тоннельного типа в регионах I, II, III.

В данном разделе представлено три варианта: выемки глубиной 6,0 м для регионов I, II, III (соответственно варианты В1, В2, В3). Выемки глубиной от 2,0 м до 6,0 м можно оценивать по тем же рекомендациям при условии, что надземная часть тоннельной ограждающей конструкции ограничена площадкой в соответствии с рис. 6.10.

12.3 Выемки для регионов IV и V.

В данном разделе представлено шесть вариантов:

- для раскрытой выемки глубиной 1,5 м, регион IV (вариант В4);
- для раскрытой выемки глубиной 4,0 м, регион IV (вариант В5);
- для выемки тоннельного типа глубиной 6,0 м, IV (вариант В6);
- для открытой выемки глубиной 4,0 м, с пологими откосами, регион V (вариант В7);
- для открытой выемки глубиной 4,0 м со ступенчатыми откосами, регион V (вариант В8);
- для открытой выемки глубиной 6,0 м со ступенчатыми откосами, регион V (вариант В9);

Для выемок до 2,0 м (регион V) рекомендуется использовать материалы Н8 (гл. 11).

Регион I

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1) в выемке тоннельного типа глубиной 6 м.

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

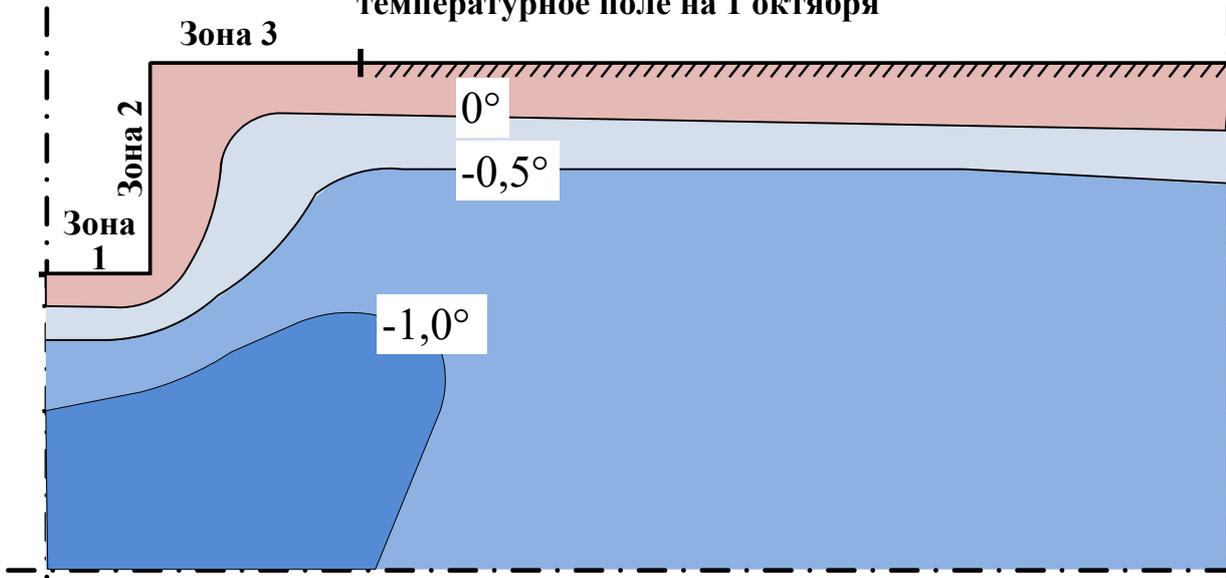


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	5	10	15	15	15	20
	2	-	5	5	5	5	5
	3	-	-	5	5	5	5
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	15,16	15,14	15,12	15,10

Регион II

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1) в выемке тоннельного типа глубиной 6 м.

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

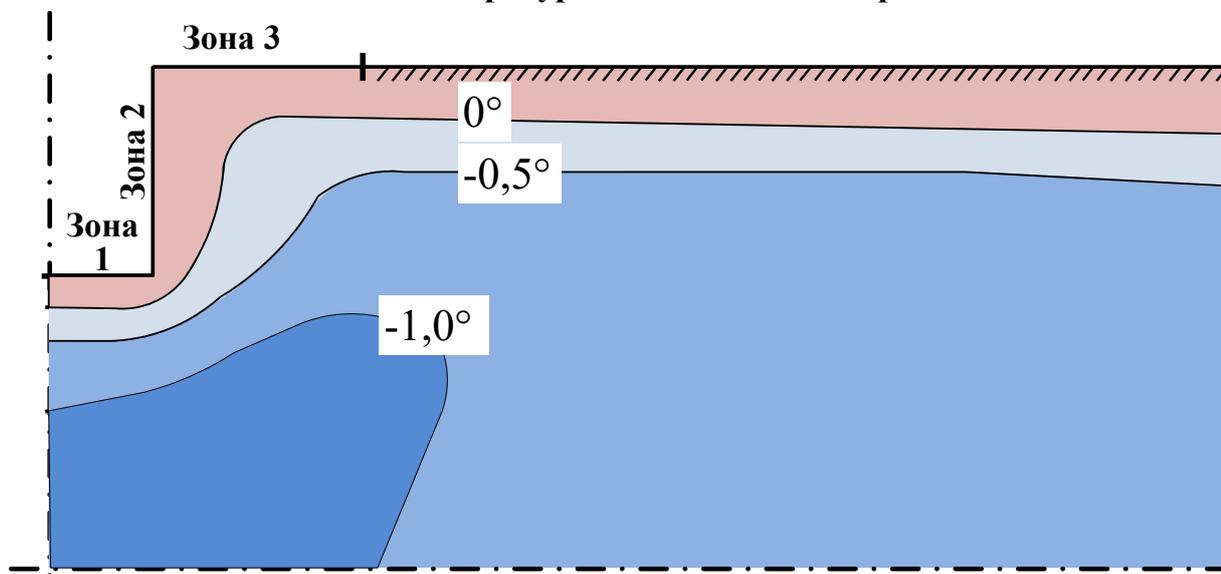


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	5	10	15	15	15	20
	2	-	-	5	5	5	5
	3	-	-	5	5	5	5
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	15,16	15,14	15,12

Регион III

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1) в выемке тоннельного типа глубиной 6 м

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

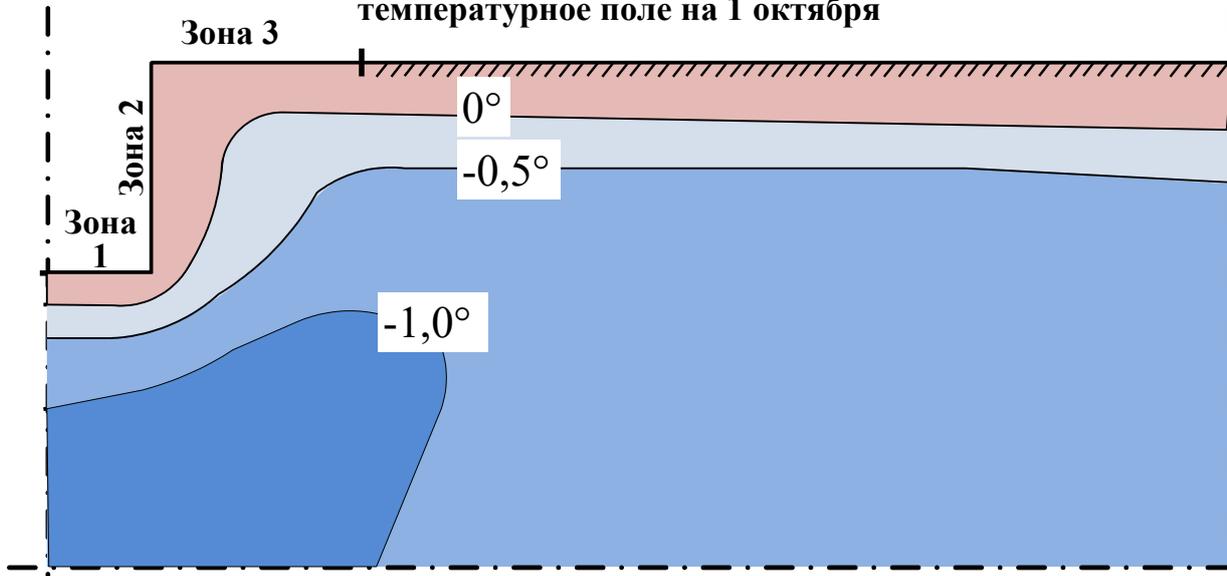


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °C					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	5	10	15	15	15	20
	2	-	-	-	5	5	5
	3	-	-	5	5	5	5
Термоопоры (термостабилизаторы) L, B, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	15,15	15,12

Регион IV

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Выемка 1,5 м.

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

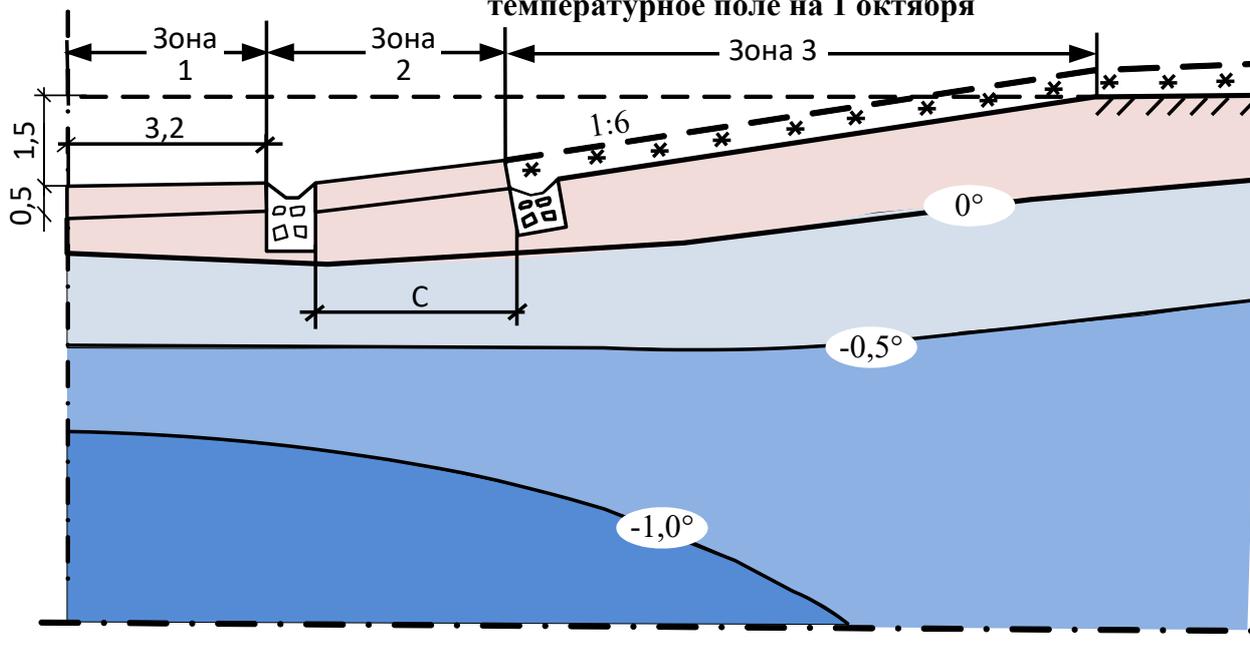


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-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	10	10	10	15	20
	2	5	5	5	5	5	5
	3	-	5	10	10	10	10
Охлаждающая площадка (БПН) С, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	2	2	4	5	5	5
	3	-	-	-	-	-	-
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	15,20	15,16	15,12
	3	-	-	-	-	-	-

Регион IV

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Выемка 4 м.

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

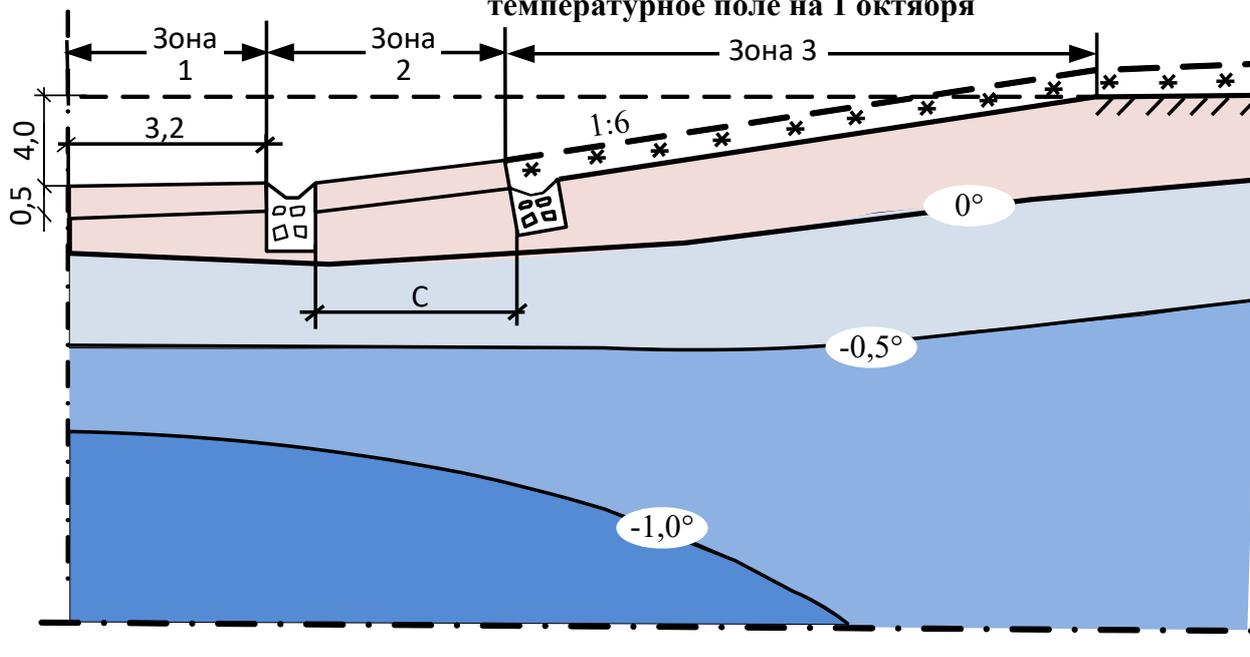


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-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	10	10	10	15	20
	2	5	5	5	5	5	5
	3	-	5	10	10	10	10
Охлаждающая площадка С, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	2	2	4	5	5	5
	3	-	-	-	-	-	-
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	15,20	15,16	15,12	15,10
	3	-	-	-	-	-	-

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1) в выемке тоннельного типа глубиной 6 м

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

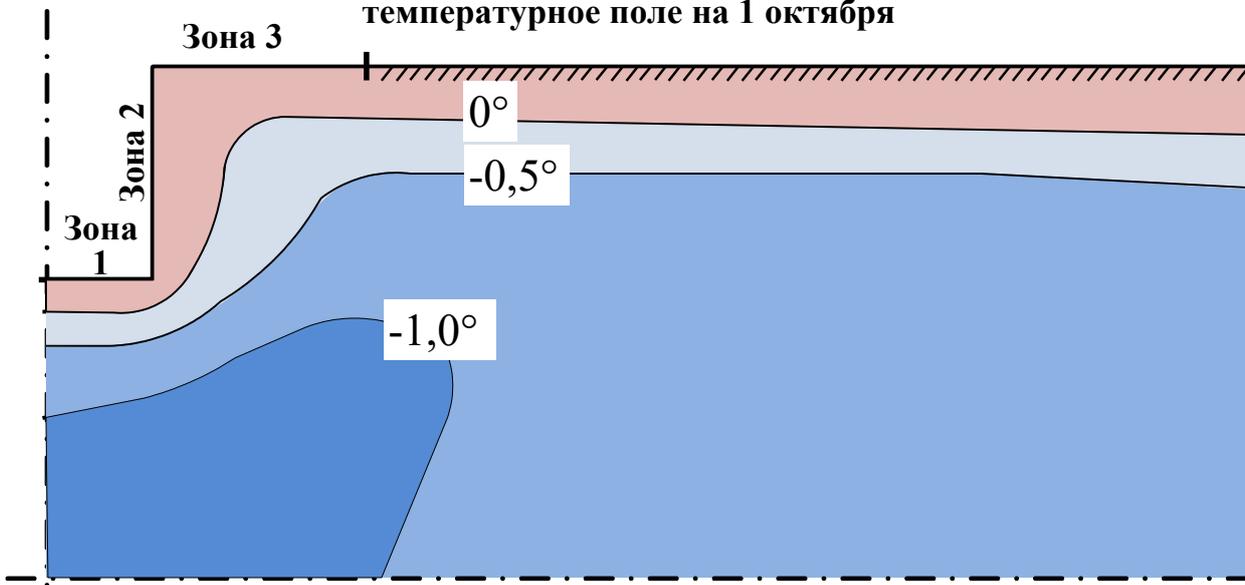


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха «t_р»

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха «t _р » °С					
		-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	10	15	15	15	20
	2	-	-	-	5	5	5
	3	-	-	5	5	5	5
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	15,15	15,12

Регион V

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Выемка 4 м.

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

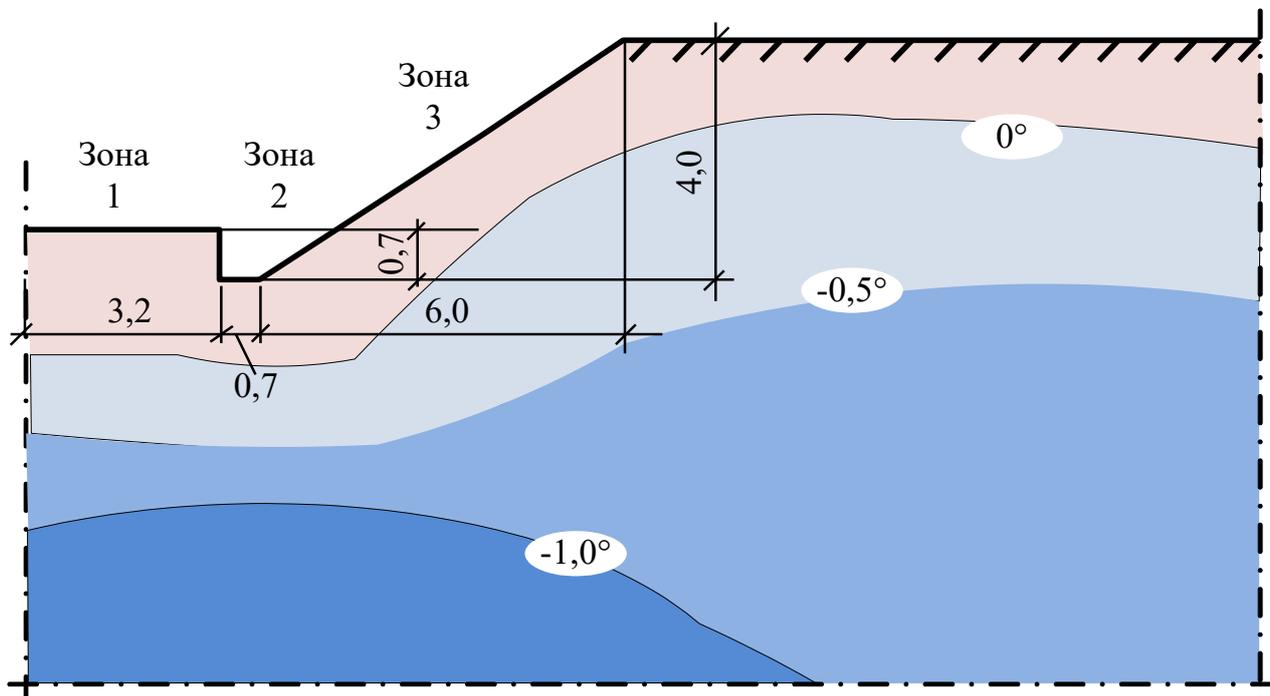


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-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	10	10	10	15	20
	2	5	10	10	10	15	15
	3	5	10	10	10	15	15
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	15,20	15,16	15,12	15,10

Регион V

Мероприятия (табл. 1) для обеспечения расчётной температуры грунтов (рис. 1). Выемка 4 м.

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

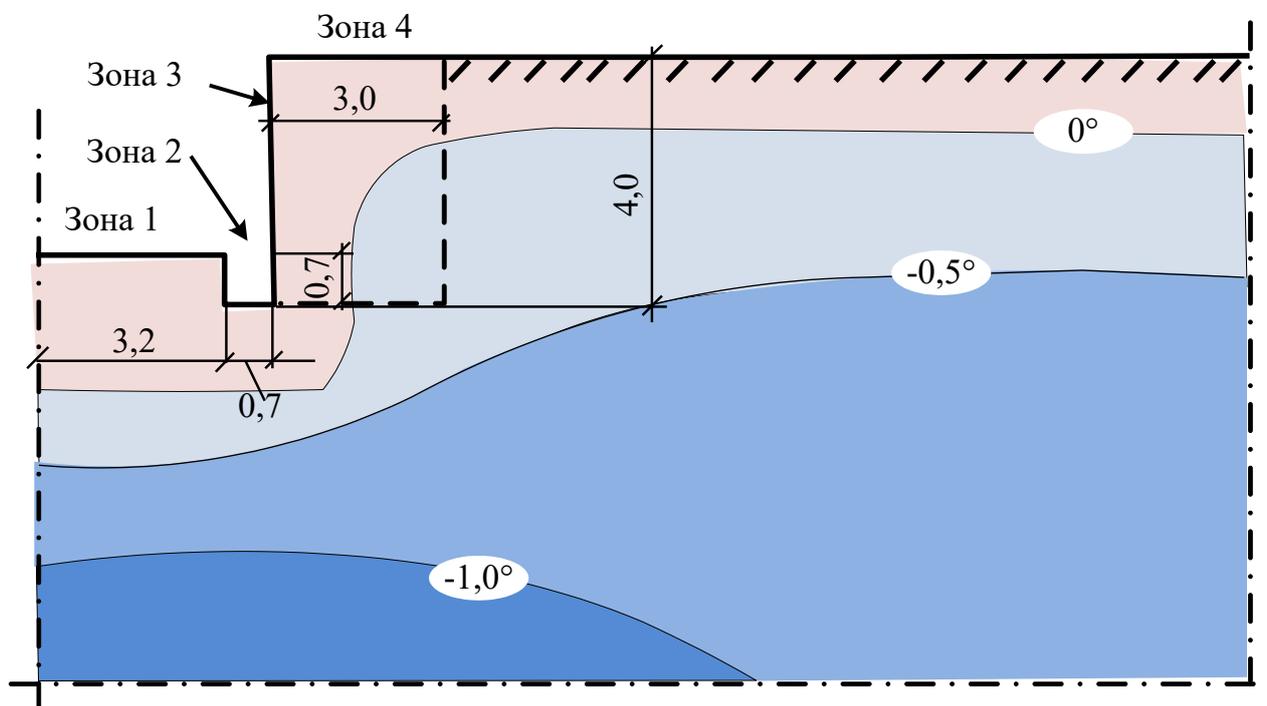


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположенности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	5	5	10	10	15	20
	2	5	5	10	10	15	15
	3	5	5	5	5	5	5
	4	-	5	5	5	15	15
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	15,20	15,16	15,12

Регион V

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

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

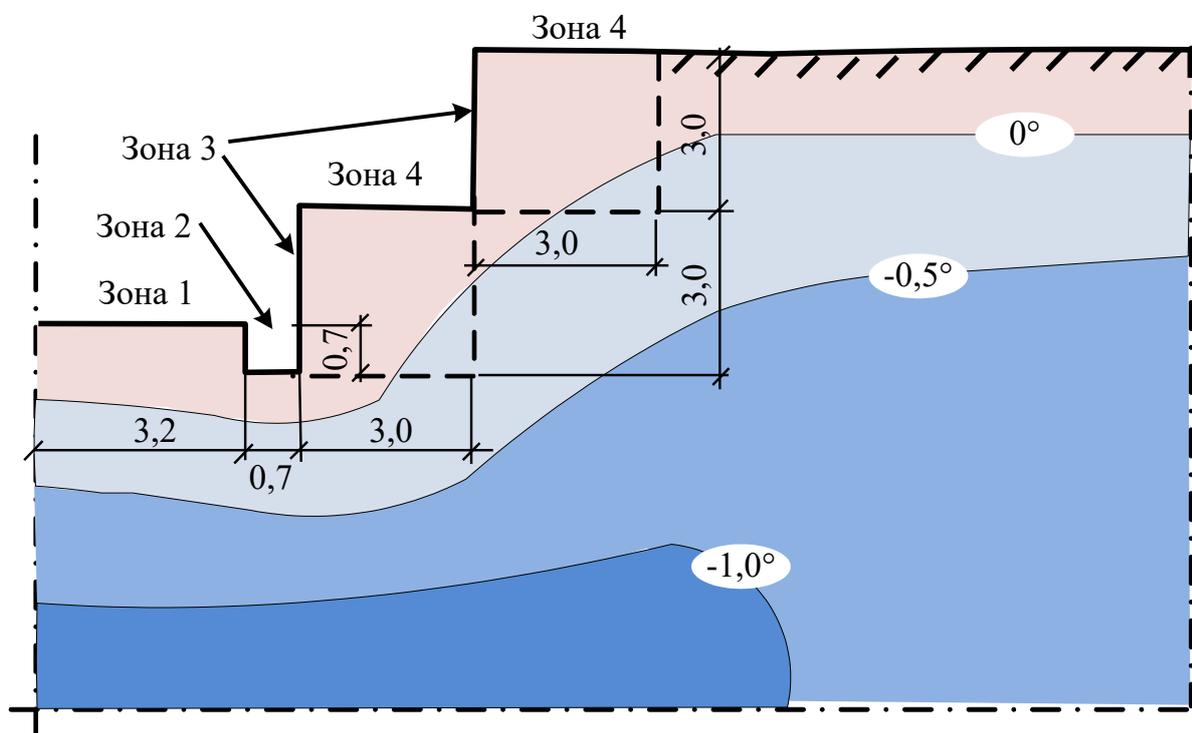


Таблица 1. Мероприятия для обеспечения расчётного температурного поля (рис. 1) при различной расчётной среднегодовой температуре воздуха « t_p »

Наименование мероприятия	№№ зон	Расчётная среднегодовая температур воздуха « t_p » °С					
		-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	+1,0
		Отметка о необходимости, величине или противоположности мероприятия в соответствующей зоне					
Теплоизоляция Т, см	1	5	5	5	10	15	20
	2	5	5	5	10	15	15
	3	-	-	-	5	5	5
	4	5	5	5	10	15	15
Термоопоры (термостабилизаторы) L, В, м	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	15.20	15.14

13. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСКУССТВЕННЫМ СООРУЖЕНИЯМ

13.1. Мостовые переходы

1. Мостовые сооружения очень разнообразны по конструкции, назначению, виду преодолеваемого препятствия, особенностям вписывания в местные условия и т.д. Многолетние исследования показали, что применение теплоизоляции с учётом специфики указанного выше многообразия позволяет существенно повысить надёжность сооружения и снизить его стоимость.

В следующих пунктах приведены рекомендации для конкретных характерных случаев.

2. Уширенные площадки (по классификации главы 10 – ЦП-1 и ЦП-2).

Применение теплоизоляции в составе уширенных площадок (7.1 и 7.5) целесообразно в двух её частях:

- на верхней поверхности. Во всей области применения (регион I, II, III) рекомендуется мощность теплоизоляции 5 см независимо от региона;

- в зоне откосов и прилегающей к подошве откосов территории шириной до 5 м и мощность теплоизоляции 10 – 15 см.

3. Боковая конусная площадка в зоне устоя моста (по классификации главы 10 – БП-5).

В боковой конусной площадке рекомендуется укладка теплоизоляции 5 см на внешней поверхности площадки.

4. Глубинное охлаждение.

При глубинном охлаждении грунтов основания опор мостов рекомендуется на естественной поверхности укладка теплоизоляции мощностью 10 см в зоне опоры и за её пределами на ширину, равную двойной глубине сезонного протаивания без учёта теплоизоляции.

13.2. Водопрпускные трубы

1. В соответствии с гл. 20 Рекомендаций [1] определение охлаждающих мероприятий для насыпи в зоне водопрпускной трубы производят по табл. 1 не на температуру « t_p », а на температуру « t_y », где

$$t_y = t_p + \Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (9.1)$$

где Δt равно + 1,0 $^\circ\text{C}$, 0,0 $^\circ\text{C}$, -2,0 $^\circ\text{C}$ соответственно для регионов V, IV, I-III.

2. В регионах I, II, III рекомендуется зоны оголовков водопрпускных труб обустроить в соответствии с рис. 9.3, формируя фильтрующие охлаждающие площадки ((по классификации главы 10 – ФП-1), при проектировании которых предусматривать следующее:

- укладку теплоизоляции непосредственно под естественную поверхность грунта. Это снижает соотношение зимнего и летнего термических сопротивлений. Рекомендуется 5 см независимо от региона;

- улучшение качества каменной наброски – применять не просто скальный грунт, а сортированный камень. Сверху рекомендуется осуществить гидроизоляционное покрытие;

- защиту боковых частей площадки вертикально расположенной теплоизоляцией мощностью 5 см.

3. Для обеспечения работы термоопор и термостабилизаторов в регионах I, II, III рекомендуется устраивать откосные охлаждающие площадки (рис. 9.4), которые по классификации главы 10 обозначается индексом БО-3. Теплоизоляцию укладывают в нижней части площадки и прилегающей к подошве откоса территории шириной до 5 м. Мощность теплоизоляции 5 см.

4. При наличии под телом трубы просадочных при оттаивании грунтов рекомендуется укладывать теплоизоляцию (рис. 9.5). Теплоизоляция укладывается непосредственно под телом трубы (рис. 9.5,б), если нет фильтрующей прослойки, и под фильтрующей прослойкой (рис. 9.5,в), если таковая имеется. При этом вынос теплоизоляции за пределы трубы в продольном (рис. 9.5,а) и поперечном направлении (рис. 9.5.б,в) рекомендуется делать не меньше 1,0 м. При этом в случае фильтрующей прослойки обязательна вертикальная или наклонная составляющая теплоизоляции (рис. 9.5,в).

Рекомендуемая мощность теплоизоляции -

5 см в в регионах I, II,

и 10 см в регионах III, V, IV.

14. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МАЛЫМ ИНЖЕНЕРНЫМ СООРУЖЕНИЯМ

В основу Рекомендаций положены следующие основные положения, изложенные в пп. 8.1 и 8.2 главы 8.

Предлагается выделить две группы схем.

Первая группа схем разработана для следующих климатических условий:

- 1) малый снегоперенос (это IV и V регионы);
- 2) среднегодовая температура воздуха в соответствии с табл. 1.4 (не выше минус 2 °С).

На рис. 14.1 представлена схема расположения малого инженерного сооружения в зоне станционной площадки, разработанной в соответствии с этой группой рекомендаций. Сооружение устанавливается на площадку, содержащую слой пенополистирола. Ширина площадки в каждом направлении равна размеру сооружения плюс 2,0 м в каждую сторону. Сооружение устанавливается на габион размером 1,0×1,0×0,75 м. К заполнению габионов никаких специальных требований не предусмотрено.

Сущность имеющихся место физических процессов следующая.

В связи с воздушной прослойкой толщиной 0,75 м между сооружением 2 и естественной поверхностью грунта 1 в зоне сооружения круглый год держатся температурные условия те же, что и на остальной части насыпи, поэтому обеспечивается положение 6 нулевой изотермы. А наличие теплоизоляции 5 приводит к её повышению до положения 7.

Вторая группа схем разработана для следующих климатических условий:

- 1) наличие снегопереноса (это I, II, III и IV регионы);
- 2) любые температуры воздуха в соответствии с табл. 1.4.

В этом случае решаются две проблемы. Во-первых, обеспечивается отсутствие снегозаноса в воздушной полости между низом сооружения и естественной поверхностью грунта. Это полость обеспечивает необходимые условия теплообмена в пределах сооружения. Во-вторых, обеспечивается регулировка температуры воздуха внутри полости.

На рис. 14.2 представлена та же схема, что и на рис. 14.1, но полость между низом сооружения 2 и естественной поверхностью грунта 1 защищена от снежных заносов щитовым ограждением 11. Холодный воздух в полость поступает из охлаждающей системы 12, которая является сезоннодействующей: в тёплое время года воздух в полость не поступает. Охлаждающая система 12 представляет собой трубу прямоугольного поперечного сечения (рис. 14.3), которая на две равные части разделяет разделитель полости 13.

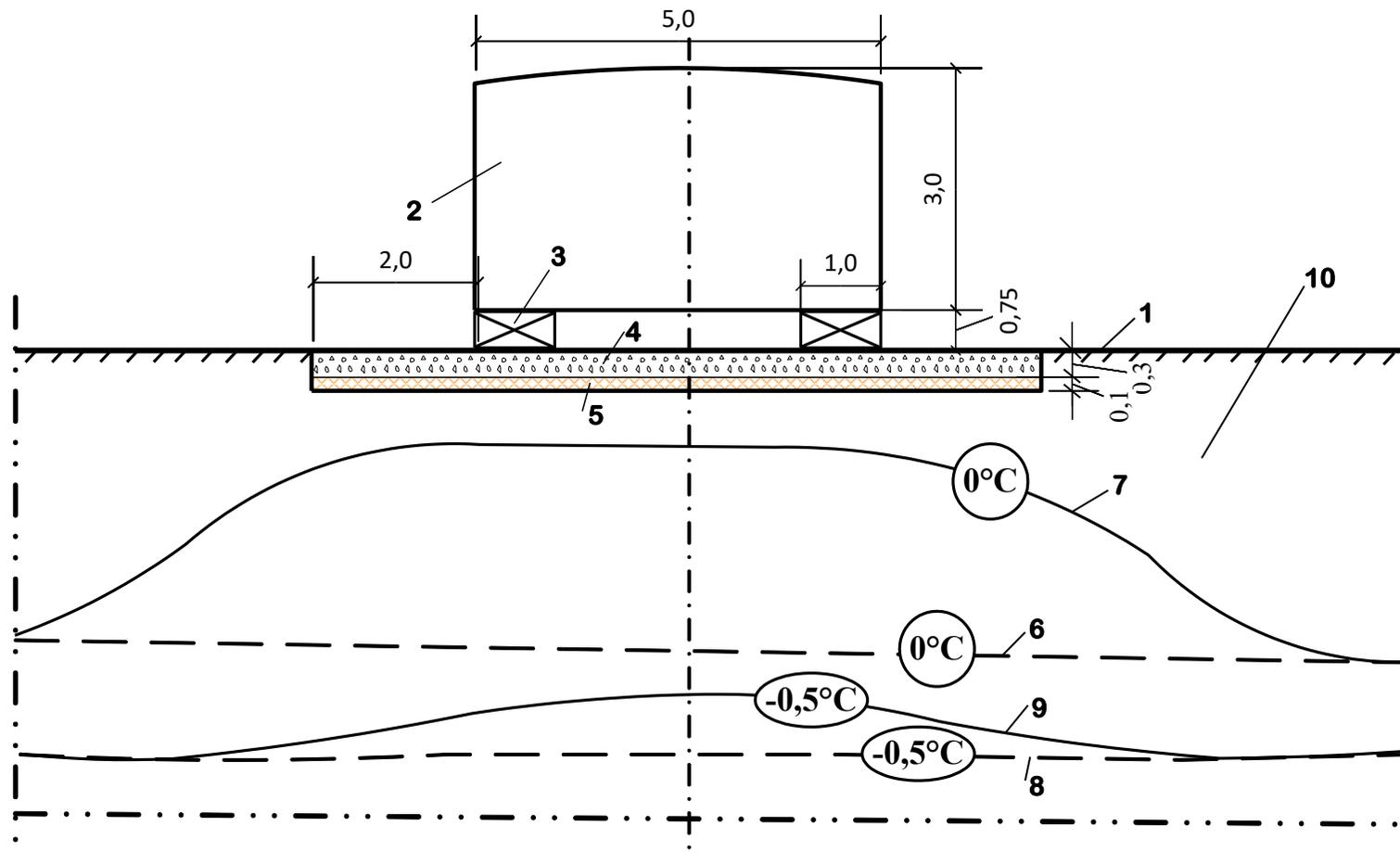


Рисунок 14.1 - Схема расположения малого инженерного сооружения на строительной площадке, вид А-А на рис. ? для условий отсутствия снегопереноса: 1 – естественная поверхность грунта, 2 – малое инженерное сооружение, 3 – габионы, 4 - защитный слой из крупнозернистого грунта, 5 – пенополистирол, 6,7 – положение нулевой изотермы на момент окончания тёплого периода года соответственно до и после постройки сооружения, 8, 9 – положение изотермы «минус 0,5 °С» до и после строительства, 10 – грунта основания

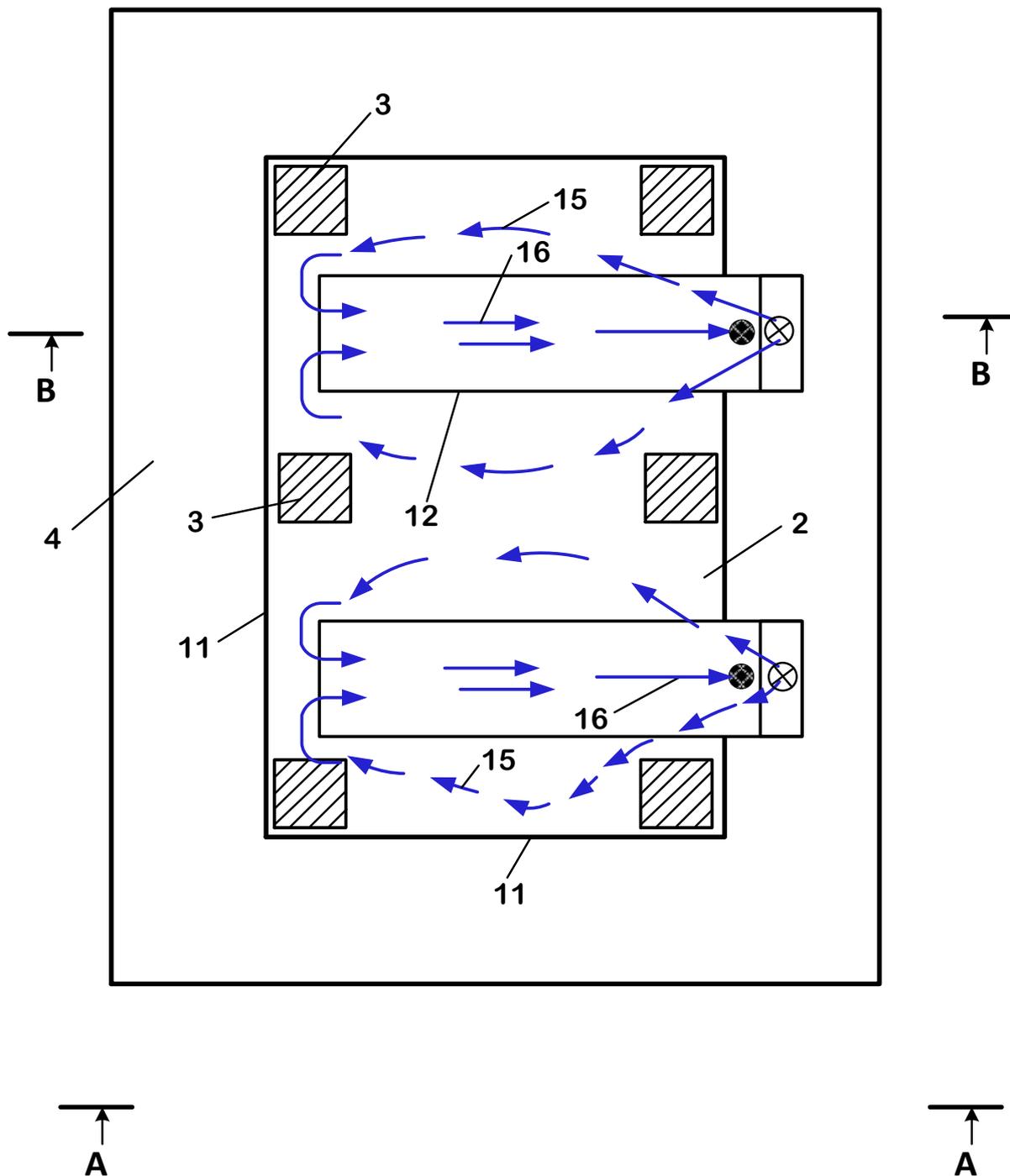


Рисунок 14.2 - Схема расположения малого инженерного сооружения на станционной площадке при сильном снегопереносе, разрез Б-Б на рис. 14.3: 2 – малое инженерное сооружение, 3 – габион, 4 - защитный слой из крупнозернистого грунта, 11 – ограждение полости под малым инженерным сооружением, 12 – охлаждающая система, 15,16 – нисходящие и восходящие потоки воздуха с зимний период

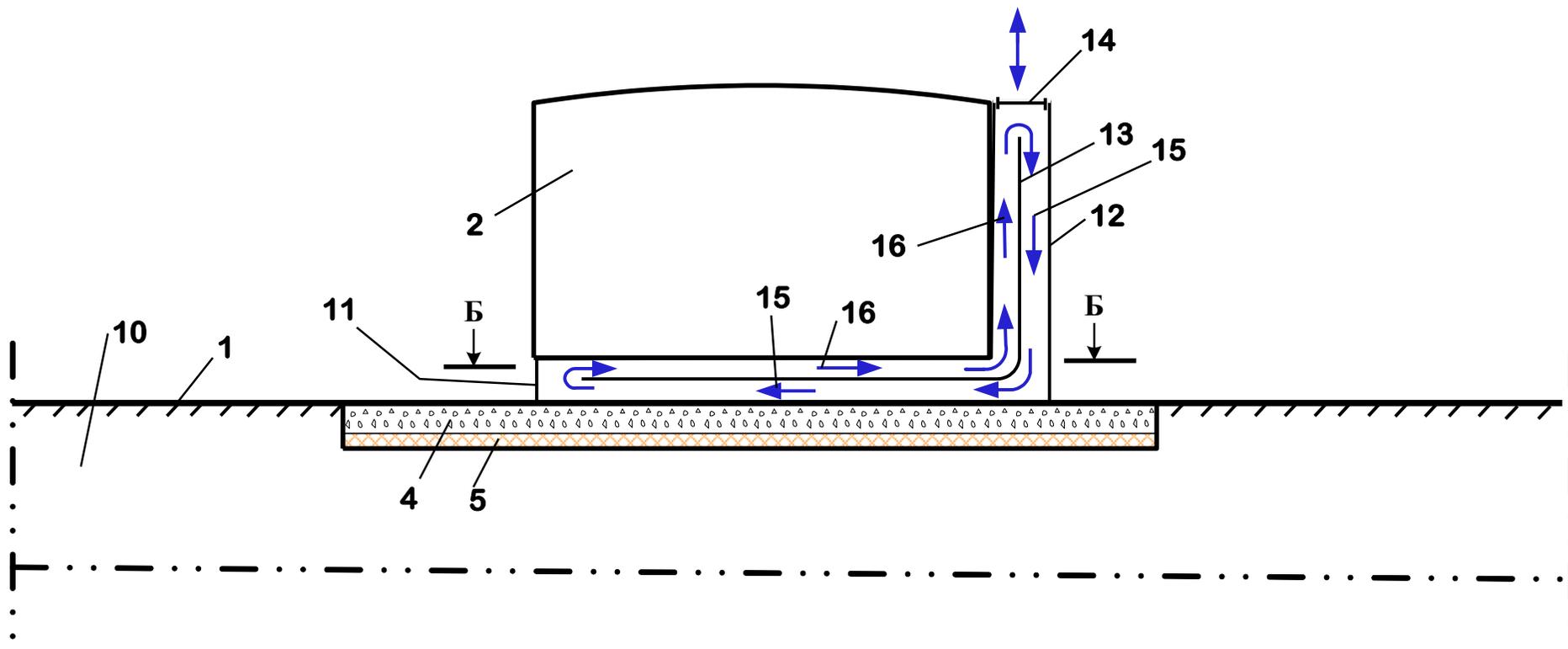


Рисунок 14.3 - Схема расположения малого инженерного сооружения на стационарной площадке при сильном снегопереносе, сечение В-В на рис. 14.2: 1 – естественная поверхность грунта, 2 – малое инженерное сооружение, 4 - защитный слой из крупнозернистого грунта, 5 – пенополистирол, 10 – грунты основания, 12 – охлаждающая система, 13 – разделитель полости охлаждающей системы 12, 14 – регулируемая по высоте крышка на охлаждающей системе 12, 15, 16 – нисходящие и восходящие потоки воздуха с зимний период

Сверху трубы 12 расположена крышка 14, которая в зимний период устанавливается в положение, указанное на рис. 14.3, а в летний период опускается вниз до контакта с разделителем 13. В зимний период воздух в системе охлаждается и формируются нисходящие потоки 15 которые поступают в полость, а нагреваемый воздух формирует восходящие потоки 16 (рис. 14.2 и 14.3). В результате в зимний период идёт постоянная конвекция. В летний период для исключения обратной конвенции крышкой 14 перекрывают возможные пути конвекции.

При очень малых размерах рассматриваемого класса сооружений, например для шкафа управления (рис. 8.1,а), с помощью теплоизоляции по схеме рис. 14.1 или 14.2 возможно поднять нулевую изотерму из положения 6 в положение 7 (рис. 14.1), но это экономически становится не оправданным.

Гораздо проще заделать опору непосредственно в нижележащую мерзлоту.

15. ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по применению теплоизоляции для стабилизации температурного режима грунтов основания и тела дорожных насыпей в зоне вечной мерзлоты. ООО «ЦЛИТ», ООО «Технониколь». М. 2024 г.
2. СП 131.13330.2012. Строительная климатология.
3. Шахунянец Г.М. Земляное полотно железных дорог. Транспортное железнодорожное издательство, М. 1953.
4. Пассек В.В., Цернант А.А., Цуканов Н.А., Вербух Н.Ф. и др. Насыпь дороги на вечномёрзлых грунтах. Патент на ПМ №60546, 12.05.2006 г.
5. Пассек В.В., Переселенков Г.С., Цуканов Н.А. и др. Выемка дороги на вечномёрзлых грунтах. Патент на ПМ №58132, 12.09.2006 г.
6. Пассек В.В., Цуканов Н.А., Вербух Н.Ф. и др. Откосная часть дорожного земляного полотна на вечной мерзлоте. Патент на ПМ №70268, 27.06.2007 г.
7. Пассек В.В., Переселенков Г.С., Цернант А.А. и др. Выемка малой глубины дороги на вечномёрзлых грунтах. Патент на ПМ №58561, 12.05.2006 г.
8. Пассек В.В., Цернант А.А., Дацковский А.Х., Линник В.А. Тоннель мелкого заложения на вечномёрзлых грунтах. Патент на изобретение №2275471, 06.10.2004 г.
9. Пассек В.В., Цернант А.А., Дацковский А.Х., Линник В.А. Тоннель мелкого заложения на вечномёрзлых грунтах. Патент на изобретение №2275472, 06.10.2004 г.
10. Пассек В.В., Цернант А.А., Орлов Г.Г. и др. Водопрopusкное сооружение в дорожной насыпи на вечномёрзлых грунтах. Патент на ПМ №73885, 27.12.2007 г.
11. Пассек В.В., Мамчур И.Г. Земляное сооружение на вечномёрзлых грунтах. Авторское свидетельство на изобретение №1664973, 08.08.1988 г.
12. Пассек В.В., Мамчур И.Г. Переход дороги через водоток на вечномёрзлых грунтах. Патент на изобретение №2035537, 13.10.1992 г.
13. Пассек В.В., Мамчур И.Г., Репко Г.Н. Мостовой переход на вечной мерзлоте. Патент на изобретение №2039146, 18.06.1993 г.
14. 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.
15. СП 445.1325800. 2018. Водопрopusкные трубы и системы водоотвода в районах вечной мерзлоты.

16. СП 447.1325800. 2019. Железные дороги в районах вечной мерзлоты.
17. Герасимов В.А. Особенности учёта климатических и мерзлотно-грунтовых условий при проектировании водопропускных труб и фильтрующих прорезей на дорогах Севера Западной Сибири. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. АО ЦНИИС. М. 2015 г.
18. Воробьёв С.С., Пассек В.В., Поз Г.М. и др. Откосная часть дорожной насыпи на вечной мерзлоте. Патент на изобретение №2819378, 08.11.2023 г.
19. Пассек В.В., Цернант А.А., Цуканов Н.А. и др. Водопропускное сооружение в дорожной насыпи на вечномерзлых грунтах. Патент на изобретение №2303675, 27.02.2006 г.
20. СП 354.1325800. 2017. Фундаменты опор мостов в районах распространения многолетнемёрзлых грунтов.
21. СТО Газпромтранс 4-2012. Технические условия на проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию железных дорог на полуострове Ямал. ООО Газпромтранс. М. 2012.
22. Пассек В.В., Александрович А.П. Мост на вечной мерзлоте. Патент на изобретение №2052010, 03.12.1992 г.
23. ГОСТ 32310-2020 (EN 13164+A.1:2015) «Изделия из экструзионного пенополистирола, применяемые в строительстве. Технические условия».
24. Пассек В.В., Воробьёв С.С., Поз Г.М. Дорожная насыпь на вечной мерзлоте. Патент на изобретение № 2744541, 02.09.2020 г.
25. Пассек В.В., Андреев В.С., Цуканов Н.А., Пассек Вяч.В. и др. Дорожная насыпь на вечной мерзлоте. Патент на изобретение № 2705656, 28.05.2018 г.
26. Пассек В.В., Цуканов Н.А., Поз Г.М. и др. Дорожная насыпь на вечномерзлых грунтах. Патент на изобретение № 2278213, 11.07.2005 г.
27. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. Изд. «Наука», М. 1977 г.
28. Пассек В.В., Переселенков Г.С., Цуканов Н.А. и др. Насыпь малой высоты дороги на вечномерзлых грунтах. Патент на ПМ №58562, 12.05.2006 г.
29. Цернант А.А., Крафт Я.С., Пассек В.В. и др. Дорожная насыпь на вечной мерзлоте. Патент на изобретение №2256031, 15.03.2004 г.

16. 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 сцементированный льдом, характеризуемый относительно хрупким разрушением и практически несжимаемый под внешней нагрузкой.

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

Обратная задача - итерационная процедура определения расчётным 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 естественном 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, сформировавшееся в момент окончания строительства;
- 3) температурное поле в момент ввода сооружения в эксплуатацию;
- 4) расчётное температурное поле, сформировавшееся на момент окончания тёплого периода года (1 октября) в установившемся режиме;
- 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.

Центральные поверхностные площадки (ЦП-1, ЦП-2), боковые откосные площадки (БО-1, БО-2, БО-3), боковые поверхностные площадки (БП-1, БП-2, БП-3, БП-4, БП-5), отдельные поверхностные площадки (ОП-1, ОП-2), фильтрующие поверхностные площадки (ФП-1) – пояснения см. в главе 10.