ЛЕНЗНИИЭП ГОСГРАЖДАНСТРОЯ

ПОСОБИЕ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ МЕСТНОСТИ И ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ГОРОДАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

ЛЕНИНГРАД 1976

gost.e-ecolog.ru

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ЗОНАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ
ТИПОВОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ
(ЛЕНЗНИИЭП) ГОСГРАЖДАНСТРОЯ

ПОСОБИЕ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ МЕСТНОСТИ И ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ГОРОДАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

СТРОЙИЗДАТ
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ЛЕНИНГРАД 1976

УДК 69(2II-I7):624.I39 + 625.7I2.65.00I2

В книге излагаются особенности инженерной подготовки местности и прокладки дорог и улиц в городах и поселках, проектируемых в зоне распространения вечномерзлых грунтов. Рассмотрены также возможности сооружения аэродромов и вертодромов в зоне городской застройки населенных мест Крайнего Севера. Дается методика расчетов при проектировании мероприятий, связанных с инженерной подготовкой местности, и расчета дорожных и аэродромных конструкций на вечномерзлых грунтах.

Книга представляет собой пособие для архитекторов и инженеров, занимающихся проектированием городов и районной планировкой Крайнего Севера.

Табл. 27, рис. 57.

Составитель А.Л.Яотребов

П $\frac{30204 - 06I}{047(0I) - 77}$ Зак.изд.

© Ленинградский зональный научно-исследовательский и проектный институт типового и экспериментального проектирования жилых и общественных зданий /ЛенЗНИИЭП/ I977.

П Р Е Д И С Л О В И Е

Цель настоящего пособия - восполнить пробел, ныне существующий в технической литературе и регламентирующих технических указаниях, по части инженерной подготовки территорий и городского и пригородного транспорта в городах и поселках Крайнего Севера, создаваемых в области залегания вечномерзлых грунтов.

В настоящем издании книга представляет собой переработку выпущенного в 1973 году ЛенЗНИИЭПом "Пособия по проектированию вертикальной планировки и сооружений городского и пригородного транспорта на Крайнем Севере". Это Пособие, выпущенное в небольшом количестве (50 экз.) как проект было разослано на рассмотрение в различные проектные и научно-исследовательские организации и в руководящие органы Госстроя СССР и Госстроя РСФСР.

На Пособие были получены отзывы от десяти организаций, в том числе от Госстроя СССР и Госстроя РСФСР, в которых отмечалась полезность и даже необходимость такой работы, "так как имеющиеся нормативные и справочные материалы дают крайне скудные сведения и указания при проектировании вертикальной планировки и транспорта, одной из наиболее трудноразрешаемых проблем в условиях Севера" (СибЗНИИЭП Госгражданстроя). В отзывах имелось также большое число весьма ценных замечаний и предложений, которые были тщательно изучены. В результате Пособие было коренным образом переработано и дополнено. В частности, кроме вертикальной планировки местности включены и другие вопросы инженерной подготовки местности, специфические для области залегания вечномерзлых грунтов.

Как показал опыт освоения Обского Севера и строительства Байкало-Амурской магистрали, воздушные сообщения на Крайнем Севере приобретают все большее значение, и авиация во многих случаях становится единственным видом транспорта, который способен разрешить проблемы пригородных перевозок. Поэтому резервированию земельных участков в системе архитектурно-плани-

ровочной организации городов и поселков Крайнего Севера необходимо уделять особое внимание, равно как и обеспечению воздушных подходов к городским аэродромам и вертодромам. Этим вопросам посвящается специальная глава.

Особенности проектирования дорог и улиц на вечномерзлых грунтах почти совершенно незнакомы широкому кругу инженеров-дорожников и планировщиков, поскольку они отражены лишь в ограниченных указаниях, выпущенных отдельными институтами для внутреннего пользования. В настоящем Пособии вопросы дорожного строительства обобщены на основе десятилетней практики проектирования и строительства.

Книга рассчитана на использование в конкретном проектировании как организациями градостроительного профиля, так и проектными институтами, дорабатывающими проекты городов и поселков в части инженерной подготовки местности и транспортного строительства. Поэтому основное внимание в ней уделяется расчетам устойчивости и прочности инженерных сооружений, возводимых на вечномерзлых грунтах. Методика расчетов и расчетные формулы даются в упрощенном виде, с конкретными примерами, что позволяет пользоваться ими любому инженеру, не знакомому специально с вопросами инженерного мерзлотоведения.

Пособие подготовлено техническим отделом ЛенЗНИИЭПа под руководством главного инженера института А.Ф.Антонова. Составитель - канд. техн. наук А.Л.Ястребов при участии инженера А.Л.Евтихиева.

Просьба все замечания и пожелания по улучшению настоящего Пособия присылать по адресу: 191065, Ленинград, наб.р.Мойки,45, ЛенЗНИИЭП, технический отдел.

ГЛАВА I

ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА МЕСТНОСТИ

При инженерной подготовке территорий, отводимых для строительства населенных мест, или отдельных строительных площадок необходимо особо учитывать четыре вида мероприятий, для которых вечномерзлые грунты создают специфику проектирования и производства работ, а именно:

вертикальную планировку местности;

организацию поверхностного стока;

предварительное промораживание или оттаивание грунтов;

борьбу с наледями.

Существенными факторами, влияющими на объемы земляных работ при инженерной подготовке местности, являются глубина сезонного оттаивания-промерзания грунтов и осадки оттаявших мерзлых грунтов при воздействии на них определенного давления.

§ I. Определение глубины сезонного оттаивания грунтов

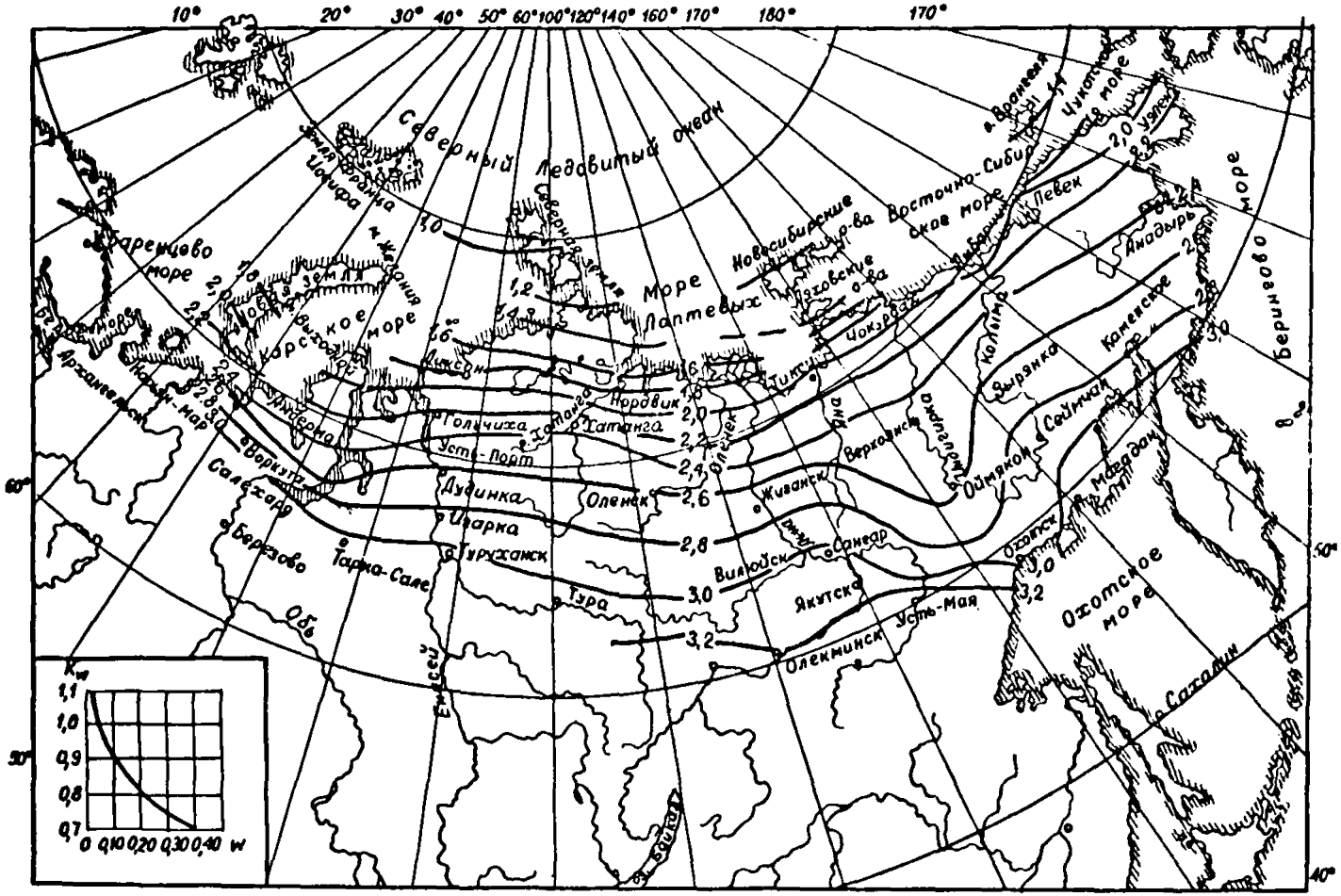
Расчетная величина сезонного оттаивания-промерзания с поверхности грунтов естественного залегания определяется с помощью карт. На этих картах нанесены изолинии глубин сезонного оттаивания для песчаных грунтов с влажностью 5% (рис.I) и глинистых с влажностью I5% (рис. 2). Для грунтов с другими значениями влажности глубина оттаивания вычисляется по формуле

$$H_т = K_\omega H_к \qquad (I)$$

где $H_т$ - глубина сезонного оттаивания-промерзания, м;

K_ω - поправочный коэффициент на влажность, приведенный на графиках на картах;

$H_к$ - значение глубин сезонного оттаивания, по изолиниям, приведенным на соответствующих картах, м.


Северный Ледовитый океан
Море Лаптевых
Карское море
Баренцево море
Восточно-Сибирское море
Чукотское море
Берингово море
Охотское море
Новосибирские о-ва
Земля Франца-Иосифа
Земля Северная
Обь
Енисей
Лена
Якутск
Тикси
Усть-Порт
Дудинка
Игарка
Туруханск
Тарко-Сале
Березово
Салехард
Воркута
Архангельск
Нарьян-Мар
Хатанга
Нордвик
Оленек
Жиганск
Вилюйск
Сангар
Верхоянск
Оймякон
Усть-Мая
Олекминск
Сусуман
Магадан
Охотск
Анадырь
Певек
Колыма
Чокурдах
Тазовский
Ямбург
Мыс Шмидта
Провидения
Уэлен
Сейчан
Камчатское
Кувлыкинское
Кувлыкинское
Кувлыкин

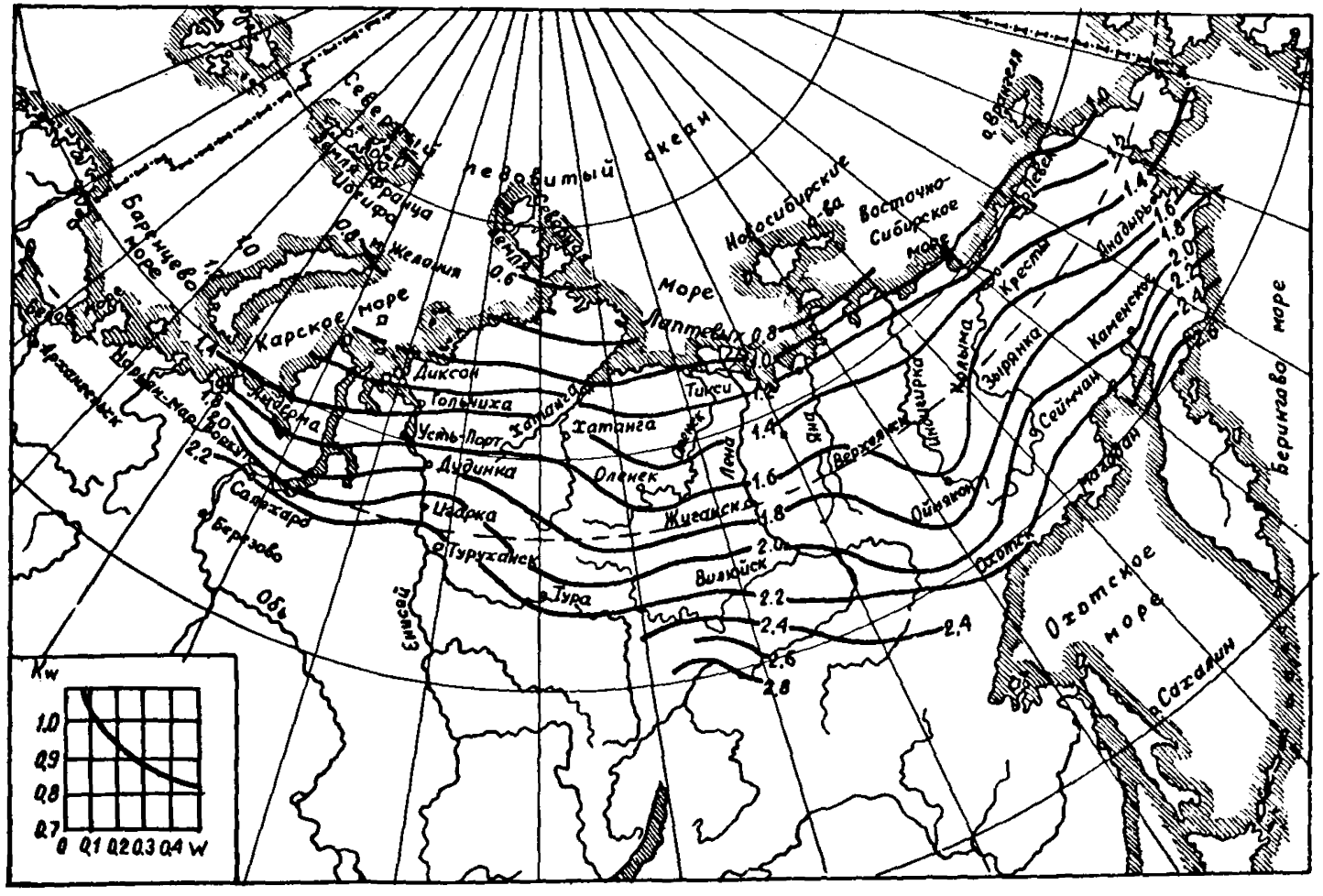


Рис. 2. Изолинии глубин сезонного оттаивания глинистых грунтов при влажности 15%

Если сезонноотаивающий слой сложен песчаными грунтами, под которыми залегают глинистые грунты, то расчетное значение глубины сезонного оттаивания следует определять по карте на рис. 3.

Для органических грунтов (торфа) и мохорастительного покрова глубина сезонного оттаивания определяется по карте рис. 4. В этом случае поправочный коэффициент на влажность не применяется.

Пример I. Определить расчетную глубину сезонного оттаивания $H_т$ для площадки в районе Тикси при следующих данных: площадка сложена суглинками с влажностью 35%.

Пользуясь картой (рис. 2), получаем, что для глинистых грунтов района Тикси $H_к$ = I,I5 м. По графику рис. 2 при W = 0,35 определяем значение K_w = 0,87. По формуле (I) получаем $H_т$ = 0,87.I,I5 = I,00 м.

Если грунт с поверхности не однородный, а сложен из различных слоев, например прикрыт слоем торфа или мохорастительным слоем, то определение расчетной глубины сезонного оттаивания производится по методу эквивалентных слоев, т.е. по формулам:

при двухслойной конструкции

$$H_{мн} = H_т^{II} - \frac{H_т^{II}}{H_т^{I}} h^{I} + h^{I}; \qquad (2)$$

при трехслойной конструкции

$$H_{мн} = H_т^{III} - \frac{H_т^{III}}{H_т^{I}} h^{I} - \frac{H_т^{III}}{H_т^{II}} h^{II} + h^{I} + h^{II}; \qquad (3)$$

при четырехслойной конструкции

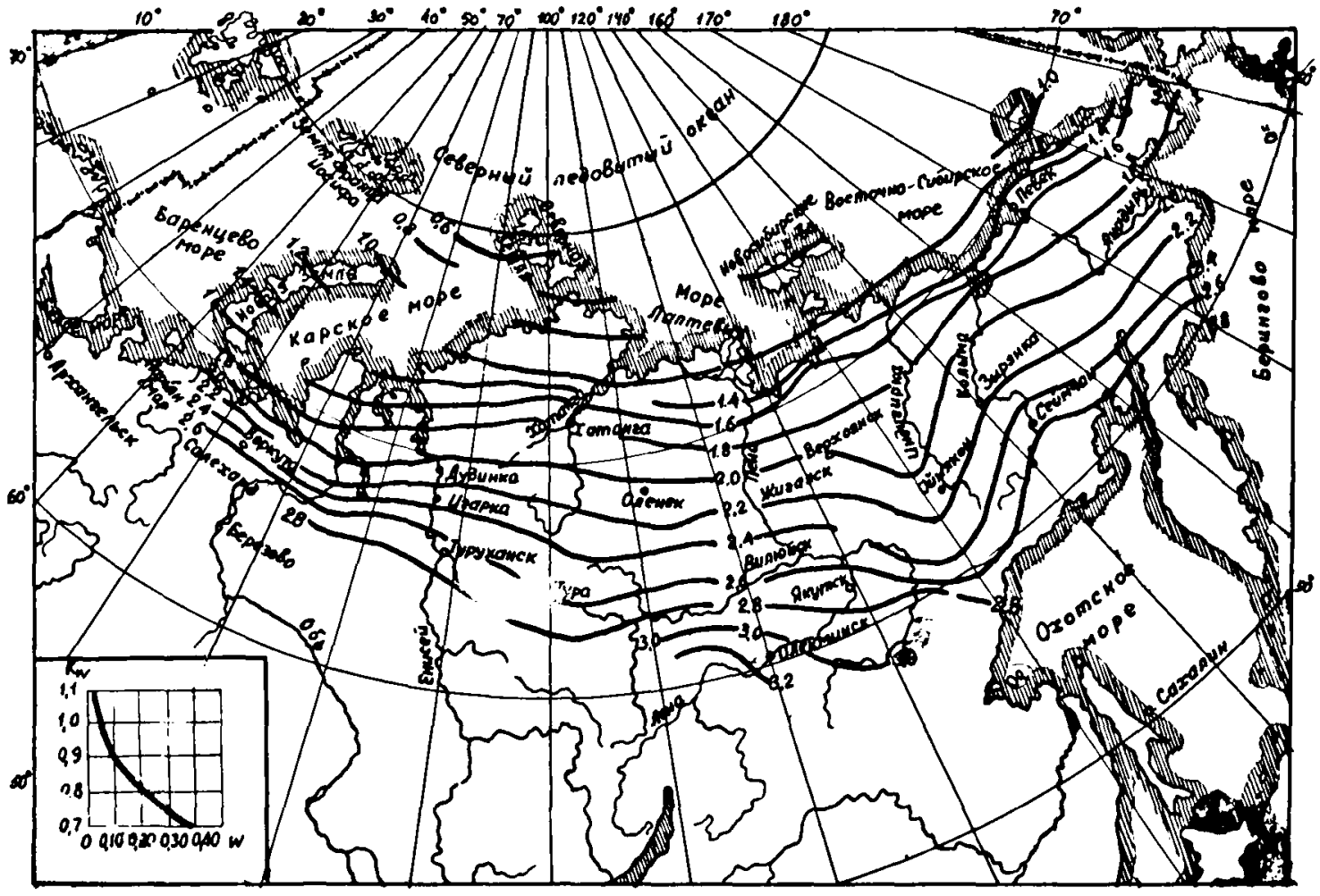
$$H_{мн} = H_т^{IV} - \frac{H_т^{IV}}{H_т^{I}} h^{I} - \frac{H_т^{IV}}{H_т^{II}} h^{II} - \frac{H_т^{IV}}{H_т^{III}} h^{III} + h^{I} + h^{II} + h^{III} \qquad (4)$$

и т.д.

Здесь $H_{мн}$ - глубина сезонного оттаивания многослойной конструкции;

$H_т^{I}, H_т^{II}, H_т^{III}$ и т.д. - глубины оттаивания за теплый период года соответствующих слоев, м;

h^{I}, h^{II}, h^{III} и т.д. - мощности (толщины) соответствующих слоев, м.


Северный ледовитый океан
Баренцево море
Карское море
Море Лаптевых
Новосибирские о-ва
Восточно-Сибирское море
Чукотское море
Берингово море
Охотское море
Архангельск
Нарьян-Мар
Салехард
Игарка
Дудинка
Туруханск
Енисейск
Якутск
Верхоянск
Жиганск
Вилюйск
Оленек
Колыма
Зырянка
Анадырь
Сахалин
Обь
Енисей
Лена
Печора
Индигирка
Яна
Хатанга
Тура
Берёзово
0.4
0.6
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
2.0
2.2
2.4
2.6
2.8
3.0
3.2
2.3
2.5
2.7
2.8
2.6
2.4
2.2
2.0
1.8
1.6
1.4
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.1
0.3
0.5
0.7
0.9
1.1
1.3
1.5
1.7
1.9
2.1
2.3
2.5
2.7
2.8
2.6
2.4
2.2
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2

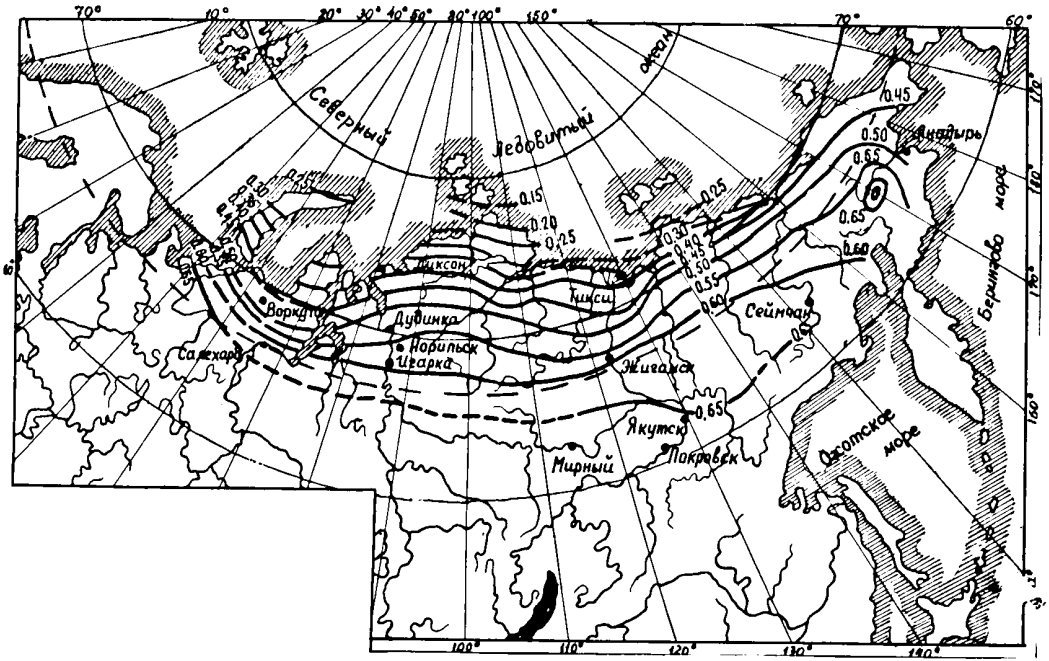


Рис. 4. Карта глубин оттаивания органических грунтов

П р и м е р 2. Определить расчетную глубину сезонного оттаивания на площадке в Жиганске (на р.Лене у Северного Полярного круга), имеющей следующее сложение: мох и торф мощностью 0,15 м, песок пылеватый с влажностью 20% мощностью 0,9 м; суглинок средний с влажностью 40%.

Определяем значения $H_т$ для каждого слоя грунта по формуле (I). Для первого слоя, состоящего из органических грунтов, по карте на рис. 4 имеем: $H_т$ = 0,57 м. Для второго слоя по карте на рис. 3 (песчаный грунт, подстилаемый глинистым) и по формуле (I) находим $H_т$ = 0,82.2,2 = I,80 м. Для третьего слоя, использовав карту на рис. 2, получаем $H_т$ = 0,86.I,7 = I,46 м. По формуле (3) для трехслойной конструкции

$$H_{мн} = I,46 - \frac{I,46}{0,57}\,0,I5 - \frac{I,46}{I,80}\,0,90 + 0,I5 + 0,90 = I,40 \text{ м}.$$

Верхняя граница вечномерзлой толщи (ВГМ) расположится в слое суглинка.

При определении глубины оттаивания на строительных площадках приходится иметь дело не только с грунтами естественного залегания, влажность которых известна из материалов мерзлотно-грунтовых изысканий, но также с грунтами привозными, идущими на подсыпки при вертикальной планировке местности, в насыпи дорог и т.п. Влажность этих грунтов в процессе проектирования неизвестна, так же как неизвестна влажность различных дорожных материалов. Поэтому в расче оттаивания влажность грунтов насыпей и слоев дорожной одежды принимается н о р м а т и в н о й (близкой к оптимальной, требуемой при работах по уплотнению насыпей), которая назначается по табл. I.

Величина оттаивания грунтов под насыпями дорог и аэродромов рассчитывается по формулам (2) - (4) как для многослойных конструкций, причем величина $H_т$ рассчитывается иначе, чем в (I):

$$H_т = K_п K_w H_к, \qquad (5)$$

где $H_к$ и K_w определяются по карте рис. I или рис. 3, а коэффициент $K_п$, учитывающий интенсивность оттаивания покрытия, принимают по данным, приведенным ниже:

Песок	I,05
Песок с гравием	I,I3

Гравий и галька I,2I
Щебень и дресва I,25
Асфальтобетон I,30
Цементобетон I,37

Таблица I

Нормативная влажность грунтов и дорожных материалов

Грунты и материалы	Нормативная влажность, %
Гравийно-галечный и щебеночный грунт	5
Песок средней крупности	7
Песок мелкий	8
Песок пылеватый	I0
Супесь легкая	I0
Супесь тяжелая	I2
Суглинок легкий	I3
Суглинок средний	I5
Суглинок тяжелый	I7
Балластный слой железных дорог:	
песчаный	5
щебеночный	3
Гравийное и щебеночное покрытие дорог	3
Основания под покрытия:	
песчаное	6
щебеночное	4
Асфальтобетонное покрытие	I
Цементобетонное покрытие	2

Примечание. В внемках влажность дорожно-строительных материалов следует принимать с коэффициентом I,I5.

Пример 3. Рассчитать глубину оттаивания насыпи автомобильной дороги в Воркуте, сооруженной из горелой породы с покрытием из бетонных плит толщиной I8 см, уложенных на песчаной подготовке толщиной I0 см. В основании насыпи залегают глинистые грунты.

Определяем глубины оттаивания каждого слоя в отдельности, приравнивая горелую породу к гравийно-галечному грунту. Влаж-

ность слоев по табл. I (считая слои сверху вниз): 2, 6 и 5%. Коэффициенты поправки на влажность по графику на карте оттаивания (рис.I) соответственно: K_w = I,I5, K_w = 0,98 и K_w = I,0. Коэффициенты $K_п$ для слоев дорожной одежды и материала самой насыпи следующие (см. с.II, считая слои сверху вниз): $K_п$ = I,37, $K_п$ = I,05 и $K_п$ = I,2I. Глубина оттаивания песчаных грунтов в Воркуте для двух верхних слоев по карте рис.I $H_к$ = 2,9 м и для грунта тела насыпи по карте рис. 3 (подстилающий грунт глинистый) $H_к$ = 2,5 м. По формуле (5) получаем:

$H_т^I$ = I,37.I,I5.2,9 = 4,57 м;

$H_т^{II}$ = I,05.0,98.2,9 = 2,99 м;

$H_т^{III}$ = I,2I.I,00.2,5 = 3,03 м.

По формуле (3) для трехслойной конструкции вычисляем глубину оттаивания насыпи за теплый период года

$$H_{мн} = 3,03 - \frac{3,03}{4,57}\,0,I8 - \frac{3,03}{2,99}\,0,I0 + 0,I8 + 0,I0 = 3,09 \text{ м}.$$

Таким образом, если высота насыпи будет более 3,09 м, то ее основание остается в мерзлом состоянии круглый год. Если насыпь будет высотой менее 3,09 м, то за теплый период года она полностью оттаит, и на некоторую глубину оттаит также и ее основание.

§ 2. Определение осадок поверхности грунта при его оттаивании

Осадка поверхности мерзлого грунта (S, м) при его оттаивании, а следовательно, и осадка сооружения, возведенного на нем, зависит от вида грунта, его влажности, характеристик пластичности (пределы Аттерберга для глинистых грунтов), глубины его оттаивания и нагрузки, передаваемой на грунт. Она определяется по формуле

$$S = \delta h_{от}, \qquad (6)$$

где δ - относительное сжатие мерзлых грунтов при их оттаивании под нагрузкой;

$h_{от}$ - глубина оттаивания мерзлого грунта под сооружением.

Для определения величины δ (величина безразмерная) существует несколько формул и методов, в том числе испытаний на

месте с применением горячих штампов и лабораторных компрессионных испытаний. Все эти способы при проектировании инженерной подготовки местности непригодны, так как их невозможно распространить на большие площади и протяжения. Поэтому при проектировании можно пользоваться графиками (рис. 5-8), дающими непосредственно расчетные значения δ. На рис. 5 даны значения δ для песчаных грунтов в зависимости от влажности грунта, на рис. 6 и 7 - значения δ для глинистых грунтов в основании насыпей автомобильных и железных дорог и аэродромов. Величина δ здесь является функцией влажности грунта и числа пластичности $W_п$. На рис. 8 изображен график для определения δ в сильнольдистых грунтах. По нему δ определяется как функция влажности грунта и влажности на пределе раскатывания $W_р$.

Для пользования графиками рис. 6-8 необходимо иметь данные о пластических свойствах грунта (пределы Аттерберга).

Если этих данных для грунтов, слагающих данную площадку, у проектировщика не окажется, то расчетные значения числа пластичности $W_п$ и влажности на пределе раскатывания $W_р$ можно (с достаточной для практики точностью) в зависимости от вида грунта принимать по данным, приведенным ниже:

	$W_п$	$W_р$ %
Супесь легкая	1-3	17-18
" тяжелая	3-7	15,5
Суглинок легкий	7-9	16-17
" средний	9-13	16-17
" тяжелый	13-17	17-19

При наличии в глинистых грунтах крупнообломочных включений относительное сжатие грунтов при оттаивании δ, полученное по графикам рис. 6 и 7, следует уменьшить на коэффициенты, приведенные в табл. 2.

При сливающейся криолитозоне("сливающаяся мерзлота") относительное сжатие δ при оттаивании органических грунтов берется из данных, приведенных ниже.

Торфяные грунты:	δ
лесотопяная залежь	0,40
топяная залежь	0,45
Ненарушенный мохорастительный слой (включая почвенный слой)	0,30
Теплоизоляционные подушки из торфа и мха	0,35

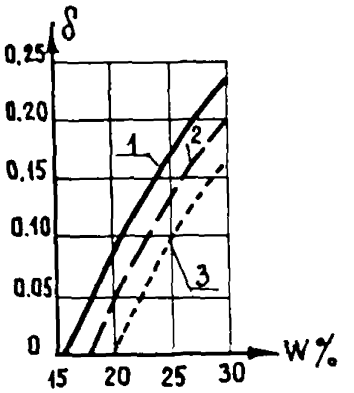


Рис.5. Относительное сжатие при оттаивании песчаных грунтов: I - песчаные крупные;2 -песчаные средней крупности; 3 - песчаные мелкие и пылеватые

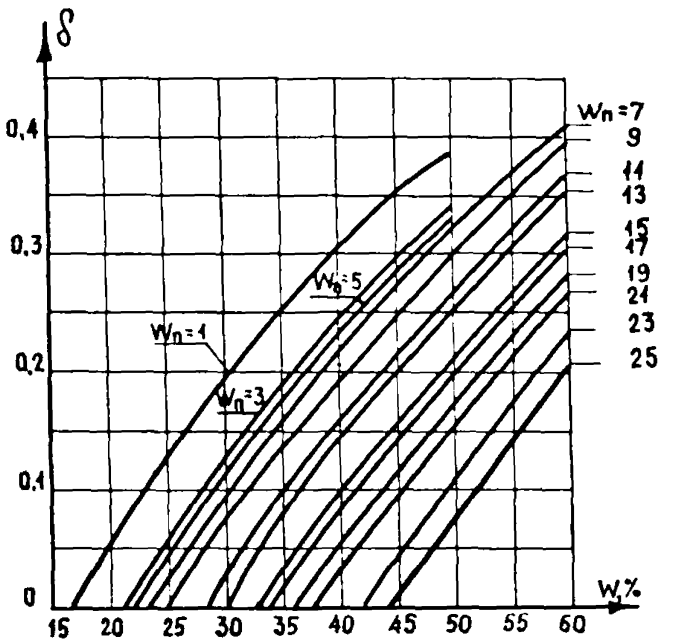


Рис. 6. Относительное сжатие при оттаивании глинистых грунтов основания под насыпями автомобильных дорог

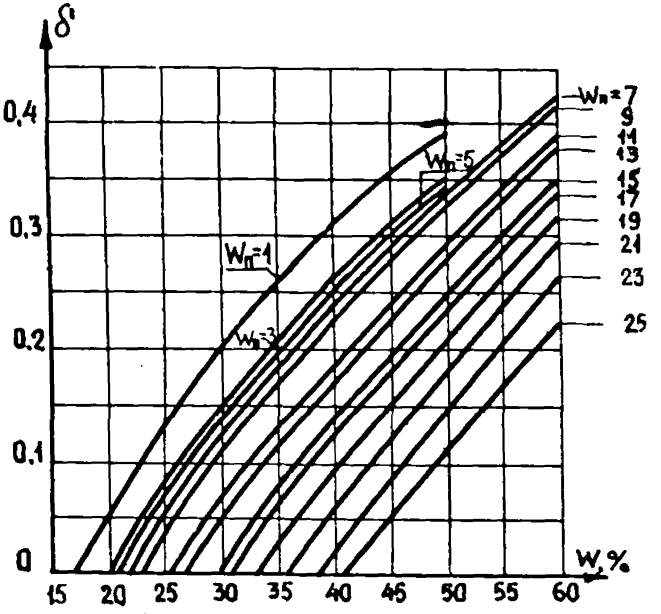


Рис. 7. Относительное сжатие при оттаивании глинистых грунтов основания под насыпями железных дорог и аэродромов

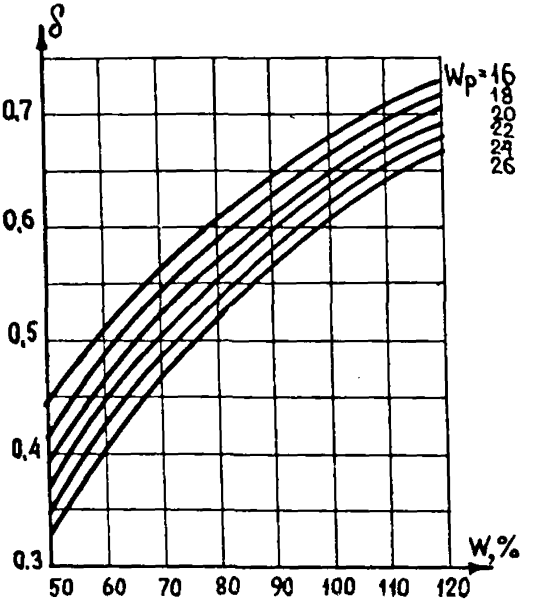


Рис. 8. Относительное сжатие при оттаивании сильнольдистых грунтов

Таблица 2

Коэффициенты, учитывающие снижение относительного сжатия грунтов с крупнообломочными включениями

Наименование грунтов	При наличии крупных фракций в количестве, %		
	до 20	20-35	35-50
Супесь легкая	I	I	0,5
" тяжелая	I	0,8	0,6
Суглинок легкий	I	0,8	0,6
" средний	I	0,8	0,55
" тяжелый	I	0,8	0,55
Глина	I	0,8	0,55

При несливающейся криолитозоне, когда между слоем сезонного оттаивания-промерзания и вечномерзлой толщей грунтов сохраняется слой постоянноталого грунта, осадка торфа рассчитывается обычным способом, как в районах, где вечномерзлые грунты отсутствуют. При этом глубина залегания торфа принимается равной глубине от дневной поверхности о расчетного горизонта верхней границы вечномерзлых грунтов ( ), если, конечно, на более близкой к поверхности глубине ... залегают минеральные грунты.

Пример 4. Определить осадку насыпи автомобильной дороги в Воркуте, сооруженной по условиям примера 3 (см. с.12). Высота насыпи вместе с покрытием 2 м. В основании насыпи залегают суглинки легкие с влажностью 40%.

В примере 3 было определено, что глубина оттаивания такой насыпи 3,09 м. Если бы в основании насыпи залегал тот же грунт, что и в теле насыпи, глубина оттаивания основания равнялась бы 3,09-2,00 = I,09 м. Скорректируем это значение, принимая во внимание, что интенсивность оттаивания грунтов тела насыпи (горелая порода) и грунтов основания (суглинки) различна.

Глубина сезонного оттаивания грунтов насыпи была определена в примере 3: $H_т^{III}$ = 3,03 м. Определяем глубину сезонного

оттаивания грунтов основания насыпи - глинистые грунты с влажностью 40%. По карте рис. 2 для Воркуты находим $H_к = 2,0$ м и $\kappa_w = 0,86$. По формуле (I) получаем $H_т = 0,86 \times 2,0 = 1,72$ м. Глубина оттаивания грунта под насыпью

$$h_{от} = 1,09 \cdot \frac{1,72}{3,0^2} = 0,62 \text{ м.}$$

Находим относительное сжатие мерзлых грунтов основания насыпи при оттаивании по графику на рис. 6, приняв число пластичности грунта по данным на с.6: $W_п = 8$. При этом значении числа пластичности и влажности грунта 40% имеем $\delta = 0,21$. По формуле (6) осадка насыпи равна

$$S = 0,21 \cdot 0,62 = 0,13 \text{ м.}$$

§ 3. Вертикальная планировка местности

В области залегания вечномерзлых грунтов проектирование вертикальной планировки ведется с соблюдением основного принципа - сохранения сложившегося термовлажностного режима многолетнемерзлой толщи грунтов. Нарушение этого принципа может привести к провалам дневной поверхности, образованию термокарстовых озер, интенсивному оврагообразованию и превратить территорию в состояние, непригодное для застройки и благоустройства.

Проект вертикальной планировки составляется на основе геокриологической карты местности, на которой даются виды, характер залегания и физические характеристики грунтов, рельеф местности и вид растительности. На этой карте следует оконтурить участки с различными грунтовыми условиями применительно к дорожно-мерзлотной классификации грунтов.

По этой классификации грунты разделяются на четыре категории:

I - сжатие грунта при оттаивании под нагрузкой не проявляется (грунты непросадочные);

II - относительное сжатие грунта (см. § 2) при оттаивании под нагрузкой не превышает 10% мощности оттаявшего слоя (грунты малопросадочные);

III - относительное сжатие грунта при оттаивании под нагрузкой колеблется от 10 до 40% (грунты просадочные);

IУа- относительное сжатие при оттаивании под нагрузкой более 40% (грунты сильнопросадочные);

IУб- грунты, содержащие в верхних горизонтах крупные (толщиной более 10 см) включения подземного льда, в результате вытаивания которого образовываются термокарсты.

Принадлежность грунта к той или иной категории можно определять по влажности грунта (табл. 3).

Таблица 3

Дорожно-мерзлотная классификация грунтов

Наименование и состав грунтов	Влажность мерзлого грунта, % Категория грунта			
	I	II	III	IУа
Гравийно-галечные и щебенисто-дресвяные с примесью:				
песка	менее 5-9	9-15	более 15	
супеси или суглинка до 25%	" 9-13	13-	" 17	
супеси или суглинка до 50%	" 11-16	16-20	" 20	
Пески	" 15-17	17-25	" 25	
Супеси:				
легкие	" 11-13	13-23	23-53	более 53
тяжелые	" 14-16	16-25	25-56	" 56
Суглинки:				
легкие и средние	" 17-20	20-28	28-60	" 60
тяжелые	" 21-23	23-35	35-66	" 66
Глины	" 25	25-40	40-75	" 75

На участках, слагаемых грунтами I и II категорий, допускается изменение рельефа путем срезок, подсыпок, смягчения уклонов и приспособление его для целей строительства. Грунты, получаемые в результате срезок, могут быть использованы на уча-

стках, требующих подсыпки. Земляные работы по планировке территории допускается производить в летний период, когда верхние слои грунта оттаивают.

При планировке участков с залеганием грунтов III категории необходимо сохранить верхнюю границу вечномерзлых грунтов(ВГМ) на ее прежнем уровне. Поэтому планировка допускается только за

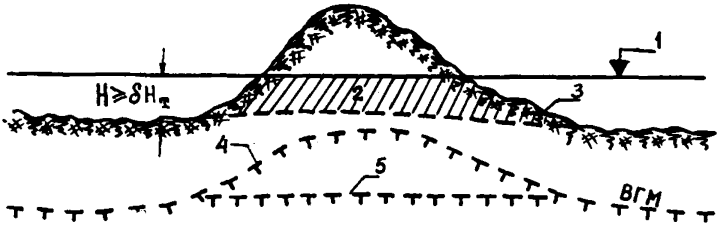


Рис. 9. Планировка местности при грунтах III категории: I - красная отметка планировки; 2 - грунт, подлежащий выемке и замене; 3 - естественный рельеф местности; 4 - ВГМ до работ по планировке; 5 - ВГМ после планировочных работ

счет подсыпок привозным грунтом, причем этот грунт по количеству содержащейся в нем влаги должен удовлетворять условиям грунтов I или II категорий (рис. 9). Высота подсыпки (H) не должна быть менее следующей величины

$$H \geqslant \delta H_т , \qquad (7)$$

где δ - относительное сжатие при оттаивании грунтов, на которых сложена данная площадка. Определяется по графику на рис. 5, 6 или 8;

$H_т$ - глубина сезонного оттаивания грунта, используемого для подсыпки. Рассчитывается по формуле (I).

Срезка отдельных бугров разрешается, но при условии, что оставшийся после срезки объем 2 (рис. 9) заменяется тем же грунтом, который используется для подсыпки.

При производстве планировочных работ в летний период подсыпка должна производиться способом "от себя", с тем чтобы естественная поверхность и ее мохорастительный покров не нарушались колесами и гусеницами транспортных машин. Срезку бугров лучше производить в зимнее время.

Пример 5. Определить минимальную высоту подсыпки при вертикальной планировке в Киганске (Якутская АССР). Площадка сложена супесями с влажностью 55%. Пластические свойства грунта неизвестны, поэтому пользуемся расчетными данными, приведенными на с.I4 W_p = I6%. Так как влажность грунта превышает 50%, пользуемся графиком рис. 8,откуда получаем δ = 0,48. Предположим, что для подсыпки будет использован мелкий песок, взятый из карьера. Влажность грунта подсыпки принимаем нормативную по табл. I, т.е. W = 8%. Глубина сезонного оттаивания грунта подсыпки (песчаный грунт, подстилаемый глинистым) по карте рис. 3 и формуле (I) равна

$$H_т = 0,94.2,2 = 2,07 \text{ м.}$$

Необходимая высота подсыпки по формуле (7) равна

$$H = 0,48.2,07 = 0,99 \text{ м.}$$

На участках, сложенных грунтами IУ категории (рис. I0), планировка местности производится также путем подсыпок высотой, определяемой по формуле (7). При срезке бугров под ними надлежит заменять грунт на глубину

$$h_з = H_т , \qquad (8)$$

где $h_з$ - глубина замены грунта под срезанным бугром;

$H_т$ - глубина сезонного оттаивания грунта, используемого для подсыпки и замены. Определяется по формуле (I).

При грунтах IУ категории планировочные работы надлежит производить тогда,когда грунт с поверхности промерз на глубину не менее I5-20 см. Для подсыпок и замены в местах срезок следует применять крупноскелетные грунты.

Пример 6. Определить, на какую глубину надлежит произвести замену грунта под срезанным бугром при вертикальной планировке в пос. Хатанга. Участок территории слагают льдонасыщенные супеси, относимые к грунтам IУ категории. Для замены используется грунт из карьера - мелкий песок.

Нормативная влажность грунта замены согласно примечанию к табл. I равна W = 8.I,I5 = 9%.По карте рис. 3 (песчаные грунты, подстилаемые глинистыми) для Хатанги имеем: $H_к$ = I,8 и k_W = 0,92. По формуле (I) вычислим $H_т$. $H_т$ = 0,92.I,8 = I,66 м.

По формуле (8)

$$h_з = H_т = I,66 \text{ м.}$$

В обычных условиях земляные работы по вертикальной планировке выполняются преимущественно после окончания работ нулевого цикла и прокладки подземных коммуникаций. На территориях, слагаемых вечномерзлыми грунтами, такой порядок работ допускается при грунтах I и II категорий. При грунтах III и IУ категорий вертикальную планировку местности или, во всяком случае, засыпку территории строительства привозным грунтом на высоту H, определяемую по формуле (7), необходимо произвести до начала всех строительных работ.

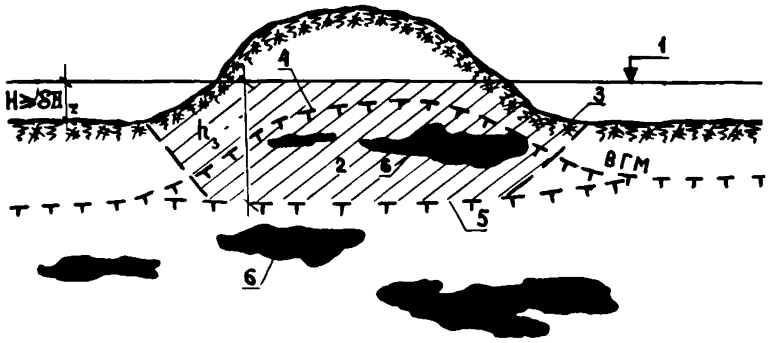


Рис. IO. Планировка местности при грунтах IУ категории: I – красная отметка планировки; 2 – грунт, подлежащий внемке и замене; 3 – естественный рельеф местности; 4 – положение ВГМ до работ по планировке; 5 – ВГМ после планировочных работ; 6 – включение подземного льда

Нулевого баланса в объемах внемок и насыпей в пределах планируемой площадки достичь нельзя, в особенности на территориях, сложенных грунтами III и IУ категорий. Непригодные для планировки грунты (III и IУ категории) вывозятся за пределы строительства.

§ 4. Обеспечение устойчивости склонов

Устойчивость откосов при вертикальной планировке проверяется по допустимой крутизне склона. Оттаявший за теплый период

года мерзлый грунт не должен сползать вниз по откосу. Для этого необходимо соблюдение условия

$$\sin\alpha < \frac{\tau_{сд}}{\gamma_0 H_т}, \qquad (9)$$

где α – острый угол, составляемый откосом с горизонтальной поверхностью;

γ_0 – объемная масса мерзлого грунта, слагающего откос, кг/м^3;

$\tau_{сд}$ – сопротивление грунта сдвигу, соответствующее началу возникновения пластических деформаций, кгс/м^2. Определяется по формуле

$$\tau_{сд} = c + p\,tg\,\varphi. \qquad (10)$$

Здесь c – сцепление мерзлого грунта после его оттаивания, кгс/м^2;

φ – угол внутреннего трения для оттаявшего мерзлого грунта;

p – давление оттаявшего слоя грунта, кгс/м^2, которое можно определить как

$$p = H_т \gamma_0. \qquad (11)$$

Значения c и φ берутся по данным мерзлотно-грунтовых изысканий, а в случае отсутствия этих данных – по табл. 4.

П р и м е р 7. Найти крутизну откоса, обеспечивающую его устойчивость. Район строительства Вилюйск. Грунты, слагающие откос, суглинки с объемной массой 1800 кг/м^3 и влажностью 27%. Из табл. 4 имеем: $\varphi = 12^0$; $tg\,\varphi = 0{,}213$; $c = 500$ кгс/м^2. По карте на рис. 2 находим: $H_к = 2{,}1$ м и $K_w = 0{,}91$; по формуле (1) $H_т = 0{,}91 \cdot 2{,}1 = 1{,}91$; по формуле (11) $p = 1{,}91 \cdot 1800 = 3438$ кгс/м^2. По формуле (10) вычисляем сопротивление грунта сдвигу:

$$\tau_{сд} = 500 + 3438 \cdot 0{,}213 = 1232 \text{ кгс/см}^2.$$

По формуле (9)

$$\sin\alpha = \frac{1232}{1800 \cdot 1{,}91} = 0{,}358.$$

Таблица 4

Углы внутреннего трения φ и сцепление c для оттаявших мерзлых грунтов

Объемная масса грунта, γ_0, кг/м³	Песок			c, кгс/м²
	мелкий, $\varphi°$	средней крупности, $\varphi°$	крупный, $\varphi°$	
I800	24	26	27	0
I900	26	28	30	0
2000	28	30	32	0
2I00	30	32	35	0
Объемная масса грунта, γ_0, кг/м³	Супеси		Суглинки	
	$\varphi°$	c, кгс/м²	$\varphi°$	c, кгс/м²
I400	3	0	2	0
I500	6	0	4	200
I600	8	0	6	300
I700	I0	I00	9	400
I800	I6	200	I2	500
I900	I8	500	I5	I000

Отсюда $\alpha = 20°59'$ и $tg\alpha = 0{,}384$. Требуемая крутизна откоса $m = 1/tg\alpha = 1/0{,}384 = 2{,}86$, или уклон откоса I : 2,86. Следует крутизну откоса назначить I : 3 .

При откосах круче расчетного следует теплоизолировать откос торфом, мхом или плитами твердого пенопласта. Толщина теплоизоляции определяется по формуле

$$\delta = H_т \frac{\lambda}{\lambda_м}, \qquad (12)$$

где δ – толщина слоя теплоизоляции откоса, м;

$H_т$ – рассчитывается по формуле (I);

$\lambda_м$ и λ – коэффициенты теплопроводности соответственно мерзлого грунта откоса (берется по графику на рис. II в зависимости от влажности и объемной массы скелета грунта) и материала теплоизоляции (для торфа мерзлого λ = 0,45; мха мерзлого – λ = 0,22 и пенопласта λ = 0,05 ккал/м.ч.°С).

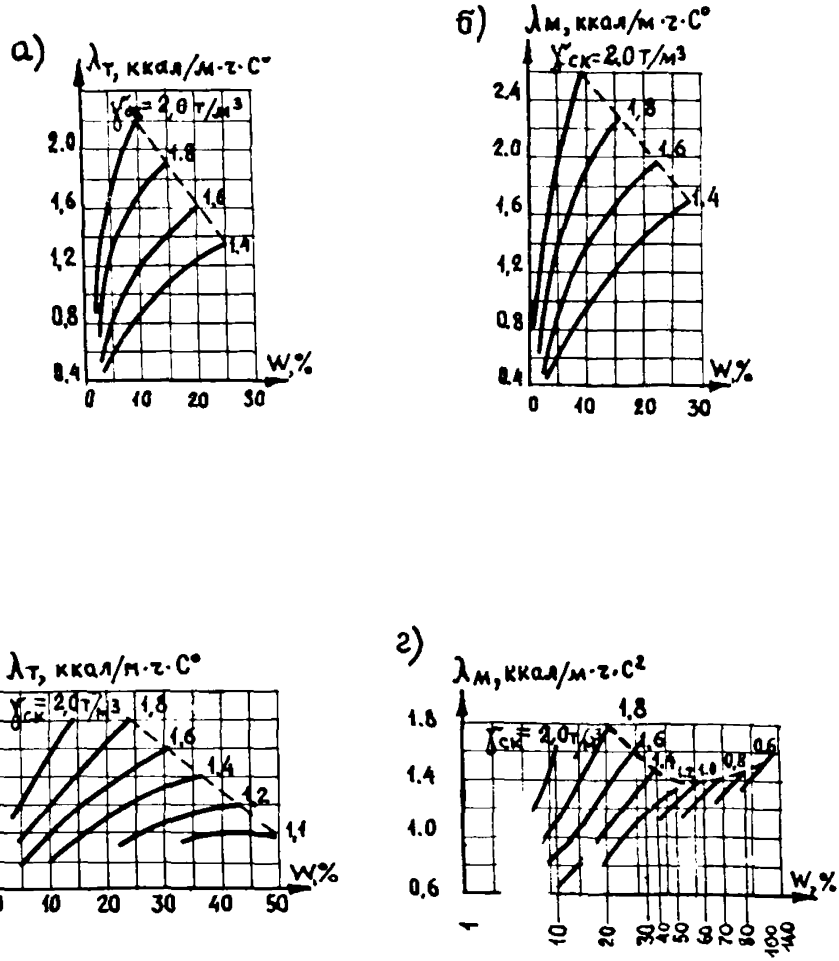


Рис. II. Коэффициенты теплопроводности талых и мерзлых грунтов: а – пески и легкие супеси в талом состоянии; б – пески и легкие супеси в мерзлом состоянии; в – тяжелые супеси, суглинки и глины в талом состоянии; г – тяжелые супеси, суглинки и глины в мерзлом состоянии

Пример 8. Определить толщину теплоизоляции откоса выемки в Игарке при использовании в качестве теплоизоляции местного осушенного грунта, торфа и твердого пенопласта. Откос сложен супесчаными грунтами с объемной массой γ_0 = 1600 кг/м^3 и влажностью 55%.

По формуле (1) и карте на рис. 2 находим глубину сезонного оттаивания грунта откоса выемки:

$$H_т = k_w H_к = 0{,}84.2{,}1 = 1{,}76 \text{ м}.$$

По изьестной формуле механики грунтов определяем объемную массу скелета мерзлого грунта

$$\gamma_{ск} = \frac{\gamma_0}{1+W} = \frac{1600}{1+0{,}55} = 1032 \text{ кг/м}^3 = 1{,}03 \text{ т/м}^3.$$

При такой массе скелета и влажности 55% по графику на рис. 11 находим коэффициент теплопроводности мерзлого грунта откоса: $\lambda_м$ = 1,24 ккал/м.ч.^{0}С.

Потребная толщина теплоизоляции по формуле (12):

при теплоизоляции торфом

$$\delta = 1{,}76 \frac{0{,}45}{1{,}24} = 0{,}64 \text{ м};$$

при теплоизоляции пенопластом

$$\delta = 1{,}76 \frac{0{,}05}{1{,}24} = 0{,}07 \text{ м}.$$

При теплоизоляции местным осушенным грунтом толщина теплоизоляции должна равняться глубине сезонного оттаивания этого грунта, с тем чтобы за теплый период года грунт откоса не оттаивал. Предположим, что для присыпки откосов местный грунт был осушен до влажности 20%. Тогда по формуле (1) и карте на рис. 2 имеем:

$$\delta = H_т = k_w H_к = 0{,}95.2{,}1 = 2{,}00 \text{ м}.$$

Слой теплоизоляции из торфа, мха или пенопласта следует прикрывать защитным слоем крупноскелетного грунта толщиной 10–15 см. Если по откосу разрешается движение транспортных машин, то защитный слой увеличивается минимум до 50 см.

Косогоры, сложенные мерзлыми грунтами, необходимо проверять на подвижность верхних слоев грунта при их оттаивании. Такое вязкопластическое течение грунтов оттаявшего слоя вниз по склону называется солифлюкцией или криосолифлюкцией. Косогор не будет подвержен солифлюкции, если угол падения склона удовлетворяет неравенству (9).

П р и м е р 9. Склон южной ориентации крутизной I:5 сложен льдистыми супесчаными грунтами с объемной массой γ_o = I500 кг/м^3 и влажностью 65%. Проверить расчетом, будет ли склон подвержен солифлюкции. Район строительства Анадырь на Чукотском полуострове.

Так как $tg\alpha = I/5$, то угол падения склона $\alpha = II^0I9'$. Глубина сезонного оттаивания грунта по карте на рис. 2 и формуле (I), увеличенная на 5% (южная ориентация склона), равна:

$$H_T = I,05.0,84.I,5 = I,32 \text{ м},$$

По табл. 4 находим: $\varphi = 6^0$, $c = 0$. Сопротивление грунта сдвигу по формуле (I0) и (II) равно:

$$\tau_{сд} = 0 + I,32.I500.\ tg\,6^0 = 208 \text{ кгс/м}^2.$$

По формуле (9) находим:

$$\sin\alpha = \frac{208}{I500.I,32} = 0,I05;\ \alpha = 6^0 02'.$$

Неравенство (9) не соблюдено; $II^0I9' > 6^0 02'$, и, следовательно, косогор будет подвержен солифлюкции. На таком косогоре нельзя уничтожать растительность и снимать торфомоховой покров.

§ 5. Организация поверхностного стока

Отвод ливневых и талых вод осуществляется преимущественно по открытым водостокам - лоткам и канавам. Уличные дорожные лотки, устраиваемые за счет профилирования проезжей части, часто не справляются с водоотводом, особенно в период таяния снегов. Улицы и проезды оказываются залитыми водой. Поэтому в профиле улиц надлежит предусматривать уширенные лотки глубиной до 0,5 м с устройством через них в местах переходов легких мостиков.

Отвод поверхностных вод на участках застройки должен уберечь территорию вокруг зданий от застоя воды и обеспечить быстрое удаление талых вод. Одной планировкой поверхности участка эту задачу решить трудно. Сток воды через всю территорию нежелателен, лучше иметь на территории застройки местную сеть открытых лотков. Чтобы лотки не нарушали общий вид благоустройства территории и не разрушали участки, прилегающие к зданиям, они должны быть широкими и мелкими, а не узкими и глубокими.

Разрушение водоотводных канав и лотков при вечномерзлых грунтах происходит особенно интенсивно из-за легкой размываемости типичных для многих районов **сильнопылеватых** грунтов, а также из-за прогрева грунтов, находящихся под небольшим слоем проточной воды. Никакие обычные способы крепления канав (одиночное и двойное мощение по мху) положения не спасают.

Укреплять канавы и лотки следует железобетонными или армоцементными плитами, укладываемыми по слою торфа или мха толщиной 10-15 см (рис. 12,а). При отсутствии на месте мха или тор-

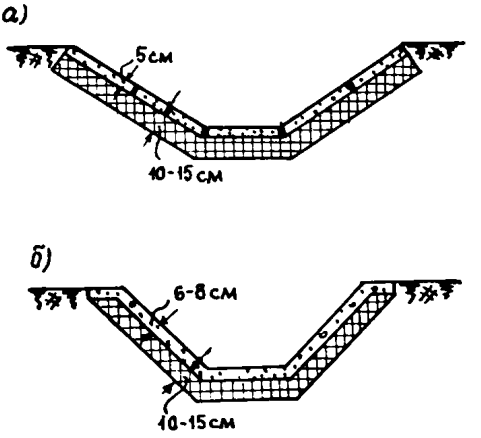


Рис.12. Укрепление водоотводных канав: а – плоскими армоцементными или железобетонными плитами; б – фасонными железобетонными блоками

фа можно использовать в качестве теплоизоляционного слоя плиты твердого пенопласта. Швы железобетонных или армоцементных плит заделываются асфальтовой мастикой или иными эластичными герметиками. Вместо плит для крепления канав удобнее применять фасонные по профилю канавы, железобетонные блоки (рис. 12,б). Более надежный водоотвод можно получить, устраивая телескопический лоток из готовых железобетонных блоков, имеющих более широкое сечение с верховой стороны (рис. 13). Такие телескопические лотки спроектированы Ленгипротрансом для использования на БАМе. В верховой конец блока вставляется низовой конец следующего блока, лежащего выше по уклону канавы. Блоки

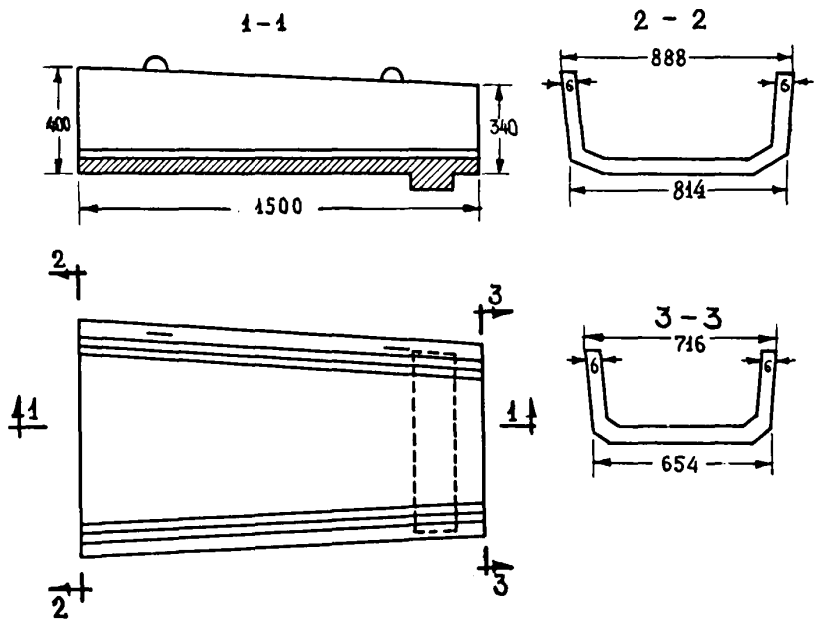


Рис. I3. Железобетонный телескопический лоток, размеры даны в мм

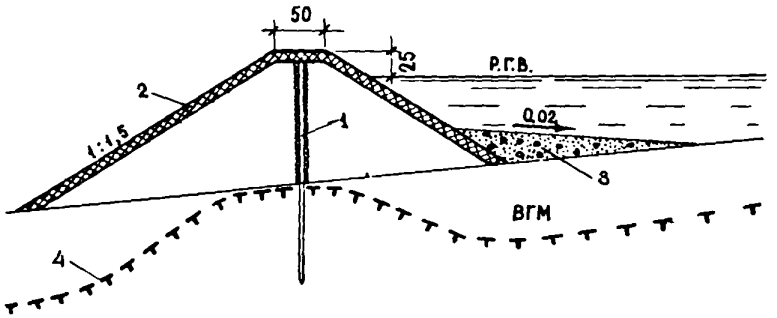


Рис. I4. Конструкция водоотводящего вала: I - плетневая стенка; 2 - одерновка; 3 - крупный гравий по мху; 4 - верхняя граница вечномерзлых грунтов

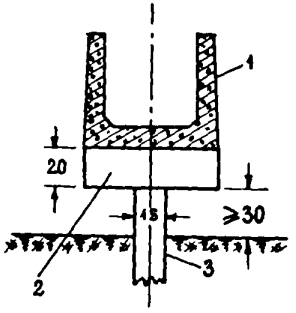


Рис. I5.Водоотводящий лоток на грунтах IУ категории: I - звено лотка; 2 - насадка; 3 - свая

лотка укладываются в канавы на щебеночной подготовке толщиной 10 см. Зазоры при стыковке заделываются на длину 6 см паклей, проваренной в битуме, а на длину 4 см цементируются.

При грунтах IУ категории (см. табл. 3) водоотводные канавы и лотки устраивать нельзя, так как это приведет к образованию оврагов и ко всевозможным термокарстовым явлениям. Перепускать воду через территории, сложенные грунтами IУ категории, можно только по поверхности, по ненарушенному растительному покрову вдоль водоотводящих земляных валов (дамб) из уплотненного суглинка (рис. 14). Другой способ перепуска вод через территории с грунтами IУ категории заключается в устройстве лотков, приподнятых над поверхностью земли минимум на 30 см (рис. 15). Для этого лотки опираются на сваи, вмороженные в вечномерзлую толщу грунтов на такую глубину, чтобы сваи не выпирались силами морозного пучения.

Если территория с грунтами IУ категории будет иметь засыпку (как указано на рис. 10), то водоотводные канавы и лотки с надлежащим креплением и теплоизоляцией можно устраивать в грунте засыпки.

Организовывать поверхностный сток воды на территориях с плоским рельефом затруднительно. В ряде случаев может потребоваться устройство автоматических, малой мощности, станций перекачки воды.

В последнее время для крупных (по масштабам Крайнего Севера) городов и поселков создаются проекты общесплавной подземной канализационной сети, в которую кроме хозяйственно-бытовых сточных вод предусматривается сброс ливневых и талых вод. Эксплуатация такой сети в условиях залегания вечномерзлых грунтов возможна только при защите канализационной сети от промерзания. Это достигается за счет усиленной теплоизоляции труб и подогрева сточных вод.

§ 6. Предпостроечное промораживание грунтов

При подготовке территории для застройки промораживание грунтов производится на небольших участках, где по каким-либо причинам образовался талик среди общей массы мерзлого грунта. Местная деградация (разрушение) вечномерзлых грунтов обычно происходит от неправильного расположения временных сооружений,

возводимых в процессе строительства на площадке объекта, и, в особенности, от прокладки временных инженерных коммуникаций, сооружаемых непосредственно в грунте, с нарушением основных правил строительства на вечномерзлых грунтах. Очень часто рядом с будущими зданиями, проектируемыми по принципу сохранения мерзлых грунтов в основании, располагают временные тепловыделяющие здания (котельные, бани, прачечные), что приводит к оттаиванию вечномерзлой толщи грунтов.

Промораживание грунтов может осуществляться двумя способами: естественным, изменяя условия теплообмена на поверхности грунта, и искусственным - путем вентиляции грунта в зимнее время морозным воздухом. При первом способе для промораживания грунта требуется обычно несколько лет; при втором способе возможно проморозить грунт за один зимний сезон.

При естественном промораживании зимой проводят систематическую уборку снега и мусора, а летом защищают промораживаемый участок термоизоляцией на поверхности.

Температуру талого грунта при расчетах можно принимать равной $0^{\circ}C$. Промораживать грунт следует до температуры не ниже $-2^{\circ}C$, при которой грунт становится твердомерзлым. Глубину промораживания $H_м$ задают такой, чтобы она превышала на 1-2 м глубину заложения фундаментов. При этих условиях глубина охлаждения ($H_{мн}$, м) в течение первой зимы, пользуясь решением Г.Н.Максимова, будет:

$$H_{мн} = \sqrt{-\frac{2\lambda_м(\theta_з + 2)\,t_з}{q_2}}, \qquad (13)$$

где $\lambda_м$ - коэффициент теплопроводности мерзлого грунта, ккал/м.ч.$^{\circ}C$. Берется по графику на рис. II б и г;

$\theta_з$ - среднезимняя температура воздуха, $^{\circ}C$;

$t_з$ - продолжительность периода года с отрицательными температурами воздуха, ч.

$$q_2 = 8\cdot 10^4(W - W_н)\gamma_м - 0{,}5\,C_м(\theta_з + 2)\,[\text{ккал/м}^3]. \qquad (14)$$

Здесь 8.10^4 - теплота плавления льда, ккал/т;

W - влажность промораживаемого грунта, доли единицы;

$W_н$ - количество незамерзшей воды в мерзлом грунте при температуре $-2^{\circ}C$. Берется по табл. 5;

$\gamma_м$ - объемная масса скелета грунта, т/м^3;

$C_м$ - объемная теплоемкость мерзлого грунта, ккал/м^3.^{0}С. Берется по графику на рис. I6.

Таблица 5

Количество незамерзшей воды $W_н$ в грунте

Температура грунта, ^{0}С	$W_н$, доли единицы			
	Песок	Супесь	Суглинок	Глина
-0,3	0,002	0,060	0,I20	0,I70
-0,6	0,002	0,050	0,I00	0,I50
-I	0,0	0,045	0,095	0,I40
-2	0,0	0,040	0,085	0,I25
-3	0,0	0,037	0,078	0,II8
-4	0,0	0,036	0,073	0,II3
-6	0,0	0,035	0,068	0,I08
-8	0,0	0,035	0,065	0,I00
-I0	0,0	0,035	0,065	0,093

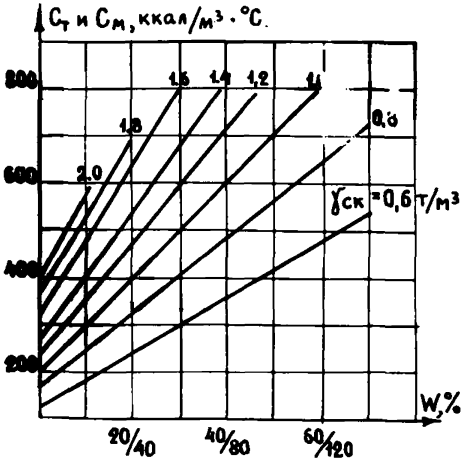


Рис. I6. Объемная теплоемкость талых ($C_т$) и мерзлых ($C_м$) грунтов. Значения влажности в числителе для талого грунта, в знаменателе - мерзлого

Если $H_{мI} < H_м$, то расчет глубины промораживания продолжается для следующих зим по формуле

$$H_{мi} = \sqrt{H^2_{мi-1} - \frac{2\lambda_м(\theta_з + 2)\cdot(t_з - t_д)}{q_{в2}}} \qquad (I5)$$

где $H_{мi-1}$ - глубина охлаждения за предыдущую зиму, м;

$t_д$ - время промораживания сезонно оттаивающего слоя, ч. Определяется по формуле

$$t_д = \frac{q_{в3} H^2_д}{-2\lambda_м(\theta_з + 2)} \qquad (I6)$$

Здесь $H_д$ - глубина летнего оттаивания грунта под слоем теплоизоляции

$$H_д = H_т - \frac{\lambda_т \delta}{\lambda}, \qquad (I7)$$

где $H_т$ - глубина сезонного оттаивания грунта, определяемая по формуле (I);

$\lambda_т$ - коэффициент теплопроводности талого грунта слоя сезонного оттаивания, ккал/м.ч.^{0}С. Берется по графику на рис. II а и в;

δ - толщина теплоизоляции, которой прикрыт промораживаемый участок, м;

λ - коэффициент теплопроводности теплоизоляции, ккал/м.ч^{0}С.

Величина $q_{в3}$ рассчитывается аналогично $q_{в2}$ по формуле

$$q_{в3} = 8\cdot 10^4 (W - W_н)\gamma_м + 0{,}5\, C_т(\theta_д + 2), \qquad (I8)$$

где W - влажность грунта сезонно оттаивающего слоя, доли единицы;

$W_н$ - количество незамерзшей воды в слое сезонного оттаивания при температуре грунта $\theta_з/2$, доли единицы. Берется по табл. 5.

$C_т$ - объемная теплоемкость талого грунта сезонно оттаивающего слоя, ккал/м^3.^{0}С. Берется по графику на рис. I6;

$\theta_д$ - среднелетняя температура воздуха, ^{0}С.

П р и м е р I0. Рассчитать продолжительность естественного промораживания грунта в Игарке до температуры -2^{0}С. Необходимая глубина промораживания $H_м$ = 5 м. Температура грунта на

промораживаемом участке близка к 0^0С. Среднезимняя и среднелетняя температура воздуха в Игарке соответственно $\theta_з$ =-I8,5^{0}С и $\theta_л$ = 9,4^{0}С. Продолжительность периода с отрицательными температурами воздуха $t_з$ = 5760 ч. Грунт сезонноотаивающего слоя суглинок с объемной массой γ_o =I,7 т/м^3 и влажностью W = 0,2. Ниже залегает суглинок с объемной массой γ_o = I,8 т/м^3 и влажностью W = 0,26.

Предполагается зимой убирать регулярно снег, а летом засыпать промораживаемый участок слоем опилок толщиной δ = 0,I м. Коэффициент теплопроводности опилок λ = 0,08 ккал/м.ч.^{0}С.

Количество незамерзшей воды в грунте по табл. 5 при температуре грунта -2^{0}С $W_н$ = 0,085 и при температуре $\theta_з/2$ =I8,5/2= -9,3^{0}С, $W_н$ = 0,065.

Находим теплофизические характеристики грунтов, для чего предварительно вычисляем объемную массу скелета мерзлого грунта:

в верхнем слое

$$\gamma_{ск} = \gamma_м = \frac{1}{1+W} = \frac{I,7}{I+0,2} = I,4I \text{ т/м}^3;$$

в нижнем слое

$$\gamma_{ск} = \gamma_м = \frac{1}{1+W} = \frac{I,8}{I+0,26} = I,43 \text{ т/м}^3.$$

По графикам на рис. II и I6 находим:

для верхнего слоя

$\lambda_т$ = 0,92 и $\lambda_м$ = I,02 ккал/м.ч.^{0}С;

$C_т$ = 530 и $C_м$ = 4I0 ккал/м^3.^{0}С;

для нижнего слоя

$\lambda_т$ = I,I2 и $\lambda_м$ = I,28 ккал/м.ч.^{0}С;

$C_т$ = 650 и $C_м$ = 460 ккал/м^3.^{0}С.

По формуле (I4) находим

$$q_{\nu 2} = 8.I0^4\ (0,26-0,085)\ I,43 - 0,5.460\ \left[(-I8,5) + 2\right] = 23800 \text{ ккал/м}^3.$$

По формуле (I3) вычисляем глубину промораживания за первую зиму:

$$H_{м1} = \sqrt{\frac{2.I,28\ \left[(-I8,5) + 2\right].5760}{23800}} = \sqrt{I0,22} = 3,20 \text{ м}.$$

За первый год промораживание не достигло требуемой глубины 5 м. Поэтому расчет продолжаем далее. По формуле (I8) находим:

$$q_{\nu 3} = 8.I0^4.(0,20-0,065).I,4I + 0,5.530\ (9,4+2) = I8300 \text{ ккал/м}^3.$$

Определяем глубину сезонного оттаивания грунтов в Игарке по формуле (I).По карте на рис. 2 при влажности грунта W = 20% имеем: $H_к$ = 2,I м и K_w = 0,95. $H_т$ = 0,95.2,I = 2,0 м.По формуле (I7) глубина оттаивания под слоем теплоизоляции равна

$$H_д = 2{,}0 - \frac{0{,}92.0{,}I}{0{,}08} = 0{,}85 \text{ м.}$$

Время на промораживание оттаявшего слоя грунта под теплоизоляцией равно по формуле (I6):

$$t_д = \frac{I8300.0{,}85^2}{-2{\cdot}I{,}02\,[(-I8{,}5) + 2]} = 392 \text{ ч.}$$

Глубина промерзания за вторую зиму по формуле (I5)

$$H_{м2} = \sqrt{3{,}20^2 - \frac{2.I{,}28\,[(-I8{,}5) + 2]\,(5760-392)}{23800}} = 4{,}46 \text{ м.}$$

Аналогично находим глубину промораживания за третью зиму $H_{м3}$ = 5,40 м. Следовательно, промораживания грунта естественным путем до глубины 5 м можно достигнуть за три зимних периода.

Воздушное охлаждение может осуществляться как естественным, так и искусственным вентилированием. В первом случае на оголовки охлаждающих труб устанавливаются дефлекторы, во втором - вентиляторы. Однако естественное вентилирование создает весьма слабое охлаждение и потому не находит широкого применения.

Диаметры наружной ($d_н$) и внутренней ($d_в$) трубы охлаждающей колонки (рис. I7) целесообразно подбирать так, чтобы площади живого сечения внешнего и внутреннего воздушных потоков были, по возможности, одинаковыми. При этом обеспечивается минимальное аэродинамическое сопротивление системы. Наиболее рациональны использование скорости воздуха от I до 5 м/с и применение скважин для погружения охлаждающих колонок диаметром от 0,2 до 0,4 м. При увеличении скорости воздуха более 5 м/с и диаметра скважин более 0,4 м интенсивность охлаждения увеличивается незначительно, но при этом усложняется устройство охлаждающей системы.

Холодный воздух с температурой входа $\theta_{нач}$, опускаясь по наружной кольцевой щели (рис. I7), нагревается до температуры $\theta_{кон}$ в нижней части охлаждающей колонки. Если воздух подается в наружную щель нагнетанием, то $\theta_{нач}$ следует принимать на два

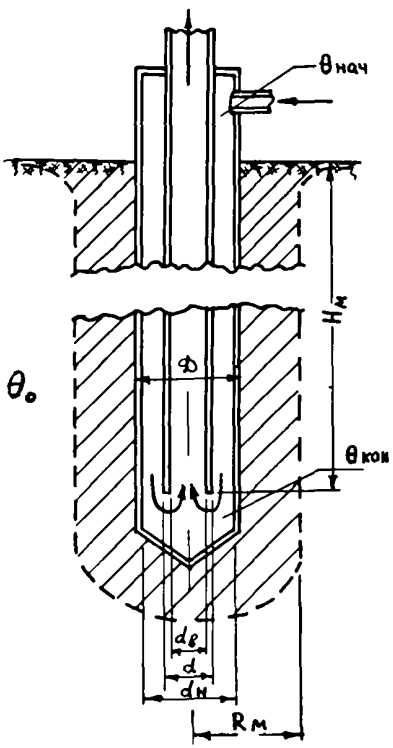


Рис. I7. Охлаждающая колонка для промораживания грунтов вентилированием морозным воздухом

градуса выше, чем температура наружного воздуха, так как при прохождении через вентилятор воздух нагревается. Относительный нагрев морозного воздуха, входящего в охлаждающую систему, на глубине колонки ($H_м$) определяется по формуле[x/]

$$\eta = \frac{\theta_{кон} - \theta_0}{\theta_{нач} - \theta_0} = \frac{\exp(u_1 H_м)}{1 - \kappa} + \frac{\exp(u_2 H_м)}{1 - \frac{1}{\kappa}}, \qquad (19)$$

где θ_0 - среднегодовая температура грунта в районе промораживания. Она всегда отрицательная и примерно равна температуре грунта на глубине 10 м от поверхности земли, определяется при мерзлотно-грунтовых изысканиях или берется по карте СНиП П-18-76 ;

$H_м$ - глубина заложения охлаждающей колонки;

$\exp x = e^x$ - экспонента, которая берется из таблицы математических справочников;

κ - рассчитывается по формуле

$$\kappa = \frac{u_1}{u_2} \cdot \frac{\pi \alpha d_н - 2C_в G u_2}{\pi \alpha d_н - 2C_в G u_1} \cdot \exp\left[(u_1 - u_2) \cdot H_м\right] \qquad (20)$$

Значения u_1 и u_2 определяются из выражения

$$u_{1,2} = -\frac{1}{2C_в G\left(\frac{1}{\pi \alpha d_н} + R\right)} \cdot \left(1 \pm \sqrt{1 + 2\frac{d_н}{d_в} + 4\pi \alpha d_в R}\right), \qquad (21)$$

где $d_в$ - внутренний диаметр охлаждающей колонки, м;

$d_н$ - диаметр охлаждающей колонки, м;

$C_в$ - объемная теплоемкость воздуха в диапазоне изменения его температуры от 0 до -30°С; $C_в$ = 0,323 ккал/м^3;

G - расход воздуха, м^3/ч;

α - коэффициент теплоотдачи от наружной трубы к воздуху, ккал/м^2.ч.°С. Определяется по формуле

$$\alpha = \exp(1{,}18 + 0{,}8 \ln V - 0{,}2 \ln d), \qquad (22)$$

Здесь V - скорость движения воздуха в кольцевой щели охлаждающей колонки, м/с;

d - наружный диаметр внутренней трубы охлаждающей колонки, м;

---

x/ Решение задачи расчета охлаждающей системы принадлежит М.А.Еремееву (ЛенЗНИИЭП, лаборатория инженерных исследований в Арктике).

R – тепловое сопротивление промороженной зоны грунта с радиусом $R_м$, определяем по формуле

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda_м} \ln \frac{2R_м}{d_н}, \qquad (23)$$

Здесь $\lambda_м$ – коэффициент теплопроводности замораживаемого грунта в мерзлом состоянии, ккал/м.ч.°С;

$R_м$ – радиус промороженного цилиндра, м. Определяется последовательно для каждого зимнего месяца по формуле

$$R_{мi} = R_{мi-1} - \frac{(\theta_{кон} - \theta_0)\, t_м}{q_{v2}\left(\frac{1}{\pi\alpha d_н} + \frac{1}{2\pi\lambda_м} \ln \frac{2R_{мi-1}}{D}\right)}, \qquad (24)$$

где $t_м$ – продолжительность месяца, $t_м$ = 720 ч;

q_{v2} – определяется по формуле (I4);

D – наружный диаметр внешней трубы охлаждающей колонки, м.

Расчет на основании приведенных выше формул сводится к определению времени, за которое мерзлые цилиндры грунта вокруг охлаждающих колонок сомкнутся между собой, образуя общий мерзлый массив грунта. Порядок расчета дается в приводимом ниже примере.

Пример II. Рассчитать режим искусственного воздушного охлаждения грунта на глубину $H_м$ = 7 м для грунтовых и климатических условий, приведенных в примере I0. Из примера I0 берем следующие грунтовые данные: объемная масса скелета мерзлого грунта $\gamma_м$ = I,43 т/м^3; объемная теплоемкость мерзлого грунта $C_м$ = 460 ккал/м^3.°С; коэффициент теплопроводности мерзлого грунта $\lambda_м$ = I,28 ккал/м.ч.°С. Влажность грунта W = 0,26 и $W_н$ = 0,085.

Среднемесячные температуры в Игарке, °С:

Месяцы	X	XI	XII	I	II	III
θ °С	-7	-20,9	-28,I	-29,6	-25,9	-20,3

Температура грунта на глубине I0 м от поверхности θ_0 = –2°С (по рис. I СНиП II-I8-76).

Охлаждающие колонки предполагается сваривать из труб сортамента 219х8 и 133х4,5 и устанавливать в шахматном порядке на расстоянии L = 4 м. Смыкание соседних цилиндров промороженного грунта произойдет при радиусе цилиндра $R_м$ = 2,0 м. Из соображений экономичности задаемся скоростью воздуха в кольцевой щели охлаждающей колонки υ = 1 м/с. Соответствующий этой скорости расход воздуха будет:

$$G = \frac{\pi}{4}(d_н^2 - d^2)3600\upsilon = 0{,}785(0{,}219^2 - 0{,}142^2)\cdot 3600\cdot 1 = 79{,}2\ м^3/ч$$

Коэффициент теплоотдачи α по формуле (22)

$$\alpha = \exp(1{,}18 + 0{,}8\ln 1 - 0{,}2\ln 0{,}142) =$$

$$= \exp(1{,}18 + 0 + 0{,}39) = \exp 1{,}57 = 4{,}81\ ккал/м^2\cdot ч\cdot °С.$$

Задаемся конкретными значениями радиусов цилиндра мерзлого грунта ($R_м$): 0; 0,5; 1,0 и 1,5 м и вычисляем по формуле (23) соответствующие этим значениям тепловые сопротивления мерзлых цилиндров:

$$R_0 = 0;\ R_{0,5} = \frac{1}{2\cdot 3{,}14\cdot 1{,}28}\ln\frac{2\cdot 0{,}5}{0{,}219} = 0{,}188;$$ аналогично

$$R_1 = 0{,}274;\quad R_{1,5} = 0{,}325\ м\cdot ч\cdot °С/ккал.$$

Определяем коэффициент относительного нагрева воздуха в колонке (η) на глубине $H_м$ = 7 м. Для этого предварительно вычисляем значения u_1 и u_2 по формуле (21). В нашем случае:

$$u_{1;2} = -\frac{1}{2\cdot 0{,}323\cdot 79{,}2\cdot\left(\frac{1}{3{,}14\cdot 4{,}81\cdot 0{,}219} + R\right)}\times$$

$$\times\left(1 \pm \sqrt{1 + 2\frac{0{,}219}{0{,}133} + 4\cdot 3{,}14\cdot 4{,}81\cdot 0{,}133\,R}\right) = -\frac{1}{51{,}16(0{,}302 + R)}\cdot\left(1 \pm \sqrt{4{,}3 + 8{,}04R}\right).$$

Подставляя найденные выше значения теплового сопротивления мерзлых цилиндров грунта R, получаем:

при $R_м$ = 0

$$u_{1;2} = -\frac{1}{51{,}16\cdot 0{,}302}\cdot\left(1 \pm \sqrt{4{,}3}\right);$$

$$u_1 = -0{,}1990;\quad u_2 = 0{,}0696;$$

при $R_м = 0{,}5$ м

$$u_{1;2} = -\frac{1}{51{,}16(0{,}302+0{,}188)}\cdot\left(1 \pm \sqrt{4{,}3 + 8{,}04\cdot 0{,}188}\right);$$

$$u_1 = -0{,}1364\ ; \quad u_2 = 0{,}0564.$$

Аналогично находим:

при $R_м = 1$ м

$u_1 = -0{,}1207$; $u_2 = 0{,}0527$;

при $R_м = 1{,}5$ м

$u_1 = -0{,}1162$; $u_2 = 0{,}0523$.

По формуле (20) вычисляем значения k для различных $R_м$:

$$k = \frac{u_1}{u_2}\cdot\frac{3{,}14\cdot 4{,}81\cdot 0{,}219 - 2\cdot 0{,}323\cdot 79{,}2\cdot u_2}{3{,}14\cdot 4{,}81\cdot 0{,}219 - 2\cdot 0{,}323\cdot 79{,}2\cdot u_1}\cdot\exp\left[(u_1-u_2)\cdot 7\right] =$$

$$= \frac{u_1}{u_2}\cdot\frac{3{,}308 - 51{,}163\cdot u_2}{3{,}308 - 51{,}163\cdot u_1}\cdot\exp\left[(u_1-u_2)\cdot 7\right].$$

При $R_м = 0$

$$k = \frac{-0{,}1990}{0{,}0696}\cdot\frac{3{,}308 - 51{,}163\cdot 0{,}0696}{3{,}308 - 51{,}163\cdot(-0{,}199)}\cdot\exp\left[(-0{,}199-0{,}0696)\cdot 7\right] =$$

$$= -2{,}86\cdot\frac{3{,}308 - 3{,}561}{3{,}308 + 10{,}181}\cdot\exp(-1{,}88) = 0{,}0084$$

$[\exp(-1{,}88) = 0{,}153]$.

Аналогично получаем:

при $R_м = 0{,}5$ м $k = -0{,}026$;

" $R_м = 1{,}0$ м $k = -0{,}044$;

" $R_м = 1{,}5$ м $k = -0{,}047$.

По формуле (19) определяем коэффициент нагревания воздуха:

при $R_м = 0$

$$\eta = \frac{\exp(-0{,}199\cdot 7)}{1 - 0{,}084} + \frac{\exp(0{,}0696\cdot 7)}{1 - \frac{1}{0{,}084}} =$$

$$= \frac{\exp(-1{,}393)}{0{,}916} + \frac{\exp 0{,}487}{-10{,}90} = 0{,}237$$

$[\exp(-1{,}393) = 0{,}249; \quad \exp 0{,}487 = 1{,}625]$.

Аналогично находим:

при $R_м = 0{,}5$ м $\eta = 0{,}413$;

" $R_м = 1$ м $\eta = 0{,}469$;

" $R_м = 1{,}5$ м $\eta = 0{,}492$.

На основании полученных данных строим график $\eta = f(R_м)$ (рис. 18). Затем вычисляем значение $q_{\eta 2}$ по формуле (14). В данном случае оно уже было вычислено в примере 10, а именно: $q_{\eta 2} = 23800$ ккал/м^3.

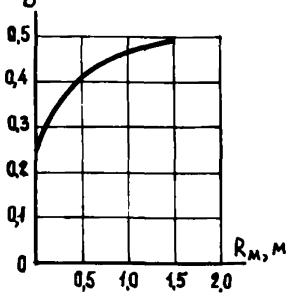


Рис. 18. График зависимости коэффициента нагрева воздуха η от радиуса промороженной зоны $R_м$

По формуле (24) рассчитываем радиусы зон промораживания последовательно для каждого зимнего месяца, учитывая, что $\theta_{кон} - \theta_0 = \eta(\theta_{нач} - \theta_0)$. Для наших условий:

$$R_{м,i} = \sqrt{R_{м,i-1}^2 - \frac{\eta \cdot [\theta_{нач} - (-2)] \cdot 720}{23800\left(\frac{1}{3{,}14 \cdot 4{,}81 \cdot 0{,}219} + \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}28} \ln \frac{2R_{м,i-1}}{0{,}227}\right)}}$$

или

$$R_{м,i} = \sqrt{R_{м,i-1}^2 - \frac{\eta \cdot (\theta_{нач} + 2)}{2{,}18 + 4{,}11 \ln \frac{R_{м,i-1}}{0{,}113}}}.$$

Таким образом, имеем:

в октябре, $R_{м,i-1} = D/2 = 0{,}113$ м; $\eta = 0{,}237$; $\theta_{нач} = -7°C$

$$R_{м,i} = \sqrt{0{,}113^2 - \frac{0{,}237(-7+2)}{2{,}18 + 4{,}11 \ln 1}} = 0{,}746 \text{ м};$$

в ноябре $R_{м,i-1}=0,746$; $\eta=0,445$ (по графику на рис. 18); $\theta_{нач}=-20,9°C$

$$R_{м,i}=\sqrt{0,746^2-\frac{0,445(-20,9+2)}{2,18+4,11\ln\frac{0,746}{0,113}}}=1,183\text{м}.$$

Продолжая далее такие же расчеты, получим

в декабре $R_{м,i-1}=1,183$; $\eta=0,475$; $\theta_{нач}=-28,1°C$; $R_{м,i}=1,565$м;

в январе $R_{м,i-1}=1,565$; $\eta=0,490$; $\theta_{нач}=-29,6°C$; $R_{м,i}=1,889$м;

в феврале $R_{м,i-1}=1,889$; $\eta=0,500$; $\theta_{нач}=-25,9°C$; $R_{м,i}=2,107$м.

Следовательно, смыкание соседних зон промораживания произойдет в феврале. Если бы расстояние между охлаждающими колонками принято было $L=1,5$ м, промораживание участка было бы достигнуто в декабре.

§ 7. Предпостроечное оттаивание грунтов

Предпостроечное оттаивание мерзлых грунтов применяется в южной зоне области вечной мерзлоты для ликвидации отдельных небольших островов мерзлого грунта или вечномерзлых слоев небольшой мощности, залегающих близко к поверхности.

Наибольшее распространение получили следующие основные способы предпостроечного оттаивания: 1) игловое гидрооттаивание - для хорошо фильтрующих грунтов (гравийно-галечных и песчаных) с последующим их виброуплотнением и 2) электрическое оттаивание и уплотнение - для глинистых грунтов с применением электроосмоса и иглофильтрового водопонижения.

При игловой гидрооттайке иглы погружают вертикально в грунт с одновременной подачей воды в иглу. В результате вокруг иглы образуется узкий столб талого грунта. После погружения подача воды продолжается, при этом происходит увеличение диаметра талого цилиндра. Иглы погружают в грунт рядами с шагом L. Расстояние между рядами принимают $0,87L$ (рис. 19). Подачу воды продолжают до тех пор, пока талые цилиндры не сомкнутся, образуя сплошной талый массив грунта. После окончания

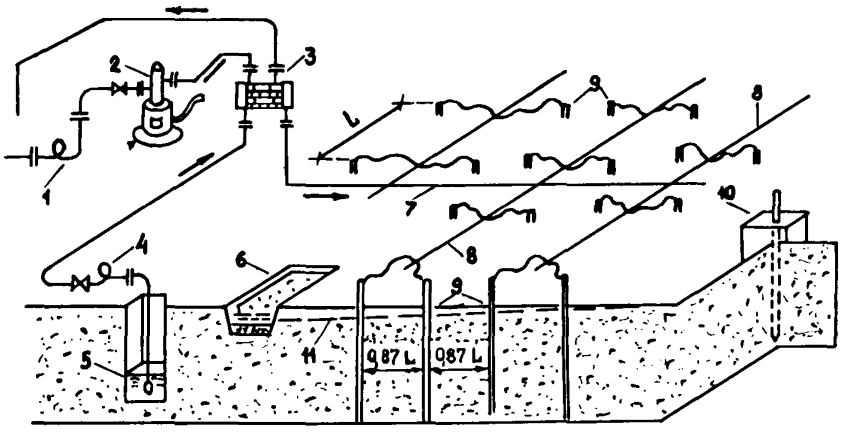


Рис. I9. Схема игловой гидрооттайки: I - насос горячей воды; 2 - нагреватель воды; 3 - теплообменник; 4 - насос грунтовой воды; 5 - колодец; 6 - отстойник; 7 - магистральная труба; 8 - распределительная труба; 9 - гидроигла; I0 - станок для погружения гидроигл; II - уровень воды в грунте

нагнетания воды талый слой дренируют в течение двух-трех суток, при необходимости устраивая колодцы и откачивая из них воду. Работы по гидрооттаиванию можно производить при температуре воздуха не ниже -I5°C[x/].

Шаг расстановки игл L рекомендуется принимать по табл. 6 в зависимости от глубины их погружения. Минимальный шаг принимается для форсированной оттайки.

Таблица 6

Рекомендуемые значения шага установки гидроигл

Глубина погружения игл, м	Шаг L, м		
	минимальный	оптимальный	максимальный
До 4	2	3	4
" 7	2,5	4	5
" II	3,5	4,5	6,4
" I7	5,3	6,4	9
" 30	6,4	9	I3

Расход воды через иглу обычно назначается равным q_v = 2 м³/ч, если глубина протаивания не превышает IC м. При глубине протаивания до I5 м расход увеличивается на 50, а при глубине до 20 м - на I00%.

Средняя производительность иглы по оттаиванию грунта R, м³/сутки:

$$R = \frac{24 q_v \kappa \theta C_в}{\theta_м C_м + \theta_т C_т + \rho W \gamma_м} , \qquad (25)$$

где κ - коэффициент теплоотдачи воды, доли единицы, принимается для галечных, гравийных и песчаных грунтов равным 0,48, а для тех же грунтов с супесчаным и глинистым заполнителем равным - 0,2;

---

x/ Подробные сведения о проектировании иглового гидрооттаивания даются в книге: Гольдтман В.Г., Знаменский В.В., Чистопольский С.Д. Гидравлическое оттаивание мерзлых горных пород. Труды ВНИИ-I, т.30. Магадан, I970.

θ - температура нагнетаемой воды, ^{0}С;

$\theta_м$ - начальная температура мерзлого грунта (со знаком плюс), ^{0}С;

$\theta_т$ - заданная температура грунта после его оттаивания, ^{0}С;

$C_в$ - объемная теплоемкость воды; $C_в$ = 1000 ккал/м^3.^{0}С;

$C_м$;$C_т$ - объемная теплоемкость грунта, соответственно мерзлого и талого, ккал/м^3.^{0}С. Берется по графику на рис. 16;

ρ - теплоемкость плавления льда, ρ = 80000 ккал/т;

W - влажность грунта, доли единицы;

$\gamma_м$ - объемная масса скелета грунта, т/м^3.

Количество дней, необходимое для оттаивания грунта вокруг одной иглы

$$T_1 = \frac{0{,}87 \cdot L^2 H}{\alpha R}, \qquad (26)$$

где α - коэффициент использования тепла воды. Принимаемый равным 0,8 при температуре воды θ выше +10^{0}С и начальной температуре вечномерзлого грунта θ выше -2^{0}С и равным 0,6 при $t < +10^0$С и $\theta_м$ ниже -2^{0}С.

Необходимое количество одновременно работающих игл равно

$$n = N \frac{T_1}{T - T_1}, \qquad (27)$$

где T - продолжительность работ по оттаиванию согласно календарному плану строительства, дни;

N - количество точек установки игл на участке.

В случае применения оборотной нагреваемой воды суммарная производительность всех одновременно действующих игл равна (м^3/сутки):

$$R_{общ} = \frac{0{,}8\, R_н}{Q}, \qquad (28)$$

где $R_н$ - тепловая производительность нагревателя, Мкал/сутки;

Q - затраты тепла на оттаивание 1 м^3 грунта, Мкал/м^3. Определяются по графику рис. 20.

Суммарная стоимость предпостроечного гидравлического иглооттаивания грунтов для обычных условий составляет 0,4 - 2 руб. за 1 м^3 грунта.

Электрическое оттаивание применяется для глинистых грунтов. Для этого способа при мерзлотно-грунтовых изысканиях определя-

ется удельное электрическое сопротивление грунтов в талом и мерзлом состоянии.

Работы по электрическому оттаиванию грунтов разделяются на две стадии: собственно оттаивание грунтов и последующее их уплотнение. На первой стадии оттаивание грунтов сопровождается

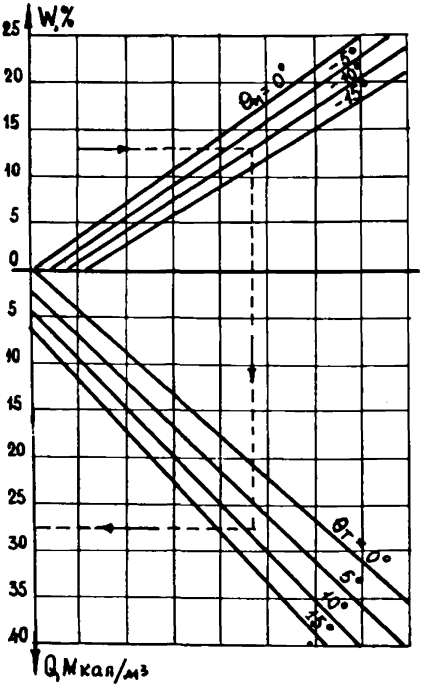


Рис. 20. График для определения затрат тепла на оттаивание грунта

их уплотнением лишь под собственным весом, а на второй стадии производится искусственное доуплотнение грунтов водопонижением и электроосмосом.

На стадии оттаивания переменный электрический ток (обычно напряжением 380 в) подается в грунт через систему перфорированных электродов, каждый из которых одновременно является вертикальной дреной. В качестве электродов используют водопровод-

ные или газовые трубы,которые опускаются в заранее пробуренные скважины или забиваются в мерзлый грунт. В плане электроды располагаются прямолинейными рядами. Расстояние между электродами в ряду обычно 2-2,5 м, а расстояние между рядами 2,5-4 м. Число рядов должно быть кратно шести плюс единица, т.е. 7, I3, I9 и т.д. Глубина погружения электродов на I м меньше расчетной глубины предпостроечного протаивания грунта.

Вторая стадия представляет собой сочетание работы водопонизительной установки с одновременным пропусканием через грунты постоянного электрического тока, причем в большинстве случаев используются те же трубчатые электроды, что и при электрооттаивании. Обычно схема подключения электродов имеет два обрамляющих площадку замкнутых контура электродов и параллельные прямые линии электродов внутри контуров. Электроды внешнего контура являются катодами, внутреннего - анодами. Знаки внутренних электродных линий чередуются. Все катоды являются одновременно иглофильтрами водопонизительной установки. Электроосмотическое уплотнение грунта ведется при максимальном вакууме на коллекторе водопонизительной установки[x/].

Электрический метод предпостроечного протаивания грунтов характеризуется следующими приблизительными технико-экономическими показателями: продолжительность работ 2-3 месяца, мощность источника электроэнергии на I $м^2$ площадки, подлежащей протаиванию, 0,I-0,3 квт, затраты электроэнергии на I $м^3$ обрабатываемого грунта 60-80 квт·ч.

§ 8. Борьба с наледями

Наледями называются образования льда на поверхности земли или водотока, возникающие при замерзании воды, изливающейся на поверхность в зимнее время.Наледи не являются процессом, свойственным только области вечномерзлых грунтов,и могут образовы-

---

x/ Расчеты, определяющие электрический режим оттаивания и уплотнения, а также подробные сведения о проектировании электрооттаивания, приведены в "Указаниях по применению электрического метода предпостроечного оттаивания и уплотнения вечномерзлых грунтов оснований зданий и сооружений". М., I963. (НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР).

ваться также в районах глубокого сезонного промерзания. Наледи наносят значительный материальный ущерб, перекрывая и разрушая дороги и деформируя здания.

По происхождению наледи разделяются на следующие четыре типа: наледи поверхностных вод, или речные, наледи грунтовых (надмерзлотных) вод, или просто грунтовые наледи, наледи подземных (подмерзлотных) вод, или ключевые наледи, и наледи смешанного питания, образующиеся как от поверхностных, так и от подземных вод.

Р е ч н ы е н а л е д и приурочены к небольшим постоянно действующим водотокам с устойчивым подземным питанием. Чаще всего речные наледи образуются на мелких горных реках и ручьях в период зимних низких температур, когда происходит быстрое нарастание ледяного покрова, вследствие чего уменьшается живое сечение водотока. В потоке создается напор такой величины, что ледяной покров разрывается, и вода через трещины во льду изливается на поверхность и, замерзая, образует наледь. Наледный лед заполняет не только русловую часть, но выходит из берегов и почти полностью может залить пойменную часть долины. При этом толщина льда иногда достигает 4-5 м. Наиболее активное промерзание водотоков, а следовательно, и возникновение речных наледей происходит на каменистых перекатах,мелях и там, где русло разбивается на отдельные мелкие рукава.

Г р у н т о в ы е н а л е д и проявляются в большинстве случаев в местах неглубокого залегания водоупора в виде вечномерзлой толщи грунтов. С наступлением устойчивых отрицательных температур воздуха (обычно в сентябре-октябре) начинается интенсивное промерзание грунтов с поверхности, что вызывает стеснение, а затем и перемерзание потока надмерзлотных вод. Вследствие этого на пути движения надмерзлотных вод возникает мерзлотная перемычка, и в грунтовом потоке с верховой стороны появится большое гидростатическое давление, разрывающее мерзлую корку грунта. Через трещины в грунте вода изливается на поверхность, образуя наледь. Такие наледи действуют недолго, и наледи образуются небольшие, с площадью распространения 400-1000 $м^2$ и толщиной льда обычно 0,2-0,4 м, в редких случаях толщиной 1-1,5 м.

В большинстве случаев грунтовые наледи появляются в результате планировочных работ и постройки дорог на косогорах. Под насыпью благодаря отсутствию растительного покрова и очистки снега грунт с осени промерзает на большую глубину, чем на прилегающих участках местности (рис. 21, а). По тем же причинам более интенсивное промерзание идет под дном выемки (рис.21,б). В таких местах уже в начале зимы может образоваться мерзлая перемычка, приводящая к возникновению наледей.

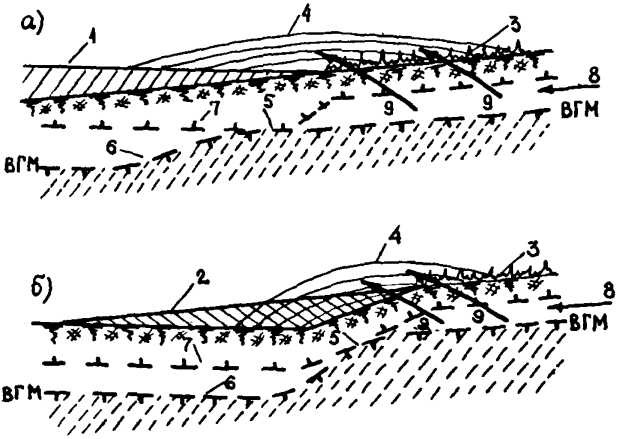


Рис. 21. Образование грунтовых наледей после планировки местности: а - при подсыпках; б - при срезках; 1 - подсыпка грунта; 2 - срезка грунта; 3 - растительный покров; 4 - наледь; 5 - мерзлая перемычка; 6 - верхняя граница вечномерзлых грунтов (водоупор); 7 - глубина промерзания грунта с поверхности в начале зимнего периода; 8 - направление потока надмерзлотных вод; 9 - выход грунтовых вод на поверхность

К л ю ч е в ы е н а л е д и возникают от намерзания воды при выходе на поверхность постоянно действующих источников глубоких подземных (подмерзлотных) вод. Они характеризуются устойчивым режимом, действуют всю зиму и образуют огромные скопления льда, толщина которого достигает 3-4 м.

Ключевые наледи приурочены, главным образом, к южной зоне области вечномерзлых грунтов, где мерзлые породы залегают отдельными островами небольшой мощности. При разработке выемок в

таких местах могут быть вскрыты водоносные слои. Вода будет выходить в виде родников на откосы, что приведет к интенсивному образованию наледей.

Наледи смешанного питания отличаются сложными закономерностями формирования и включают разнообразные признаки, характерные для наледей различных генетических типов. Наледи смешанного типа достигают объема 100 тыс.м^3 и более при мощности льда до 4 м.

Территории, на которых образуются наледи смешанного типа, следует рассматривать как непригодные для застройки и благоустройства.

Для борьбы с речными наледями применяются следующие профилактические меры по регулированию русла - расчистка, углубление перекатов, выравнивание русла, срезка петель, ликвидация протоков и т.п. При расходах менее 75 л/с безналедный пропуск водотока достигается путем устройства лотка с обшивкой стен просмоленными досками. На водотоках с расходом в период наледеобразования 100 л/с и менее с успехом применяется подогрев воды. Когда толщина наледного льда достигнет 40-60 см, в голове наледи делается прорубь и в нее сбрасывается определенное количество воды, нагретой до 60-80^{0}С. Сбрасываемая горячая вода вызывает интенсивное подтаивание наледного льда снизу, причем образуется воздушная прослойка между поверхностью воды (или дном при грунтовом подрусловом потоке) и ледяным покровом. Когда воздушная прослойка достигнет 10-20 см, сброс горячей воды прекращают, а на поверхности устанавливают снегосборные щиты для увеличения отложения снега. Воздушная прослойка, слой льда и снежный покров являются теплоизоляцией, предохраняющей промерзание потока сверху и исключающей процесс наледеобразования.

Для борьбы с грунтовыми наледями устраиваются противоналедные валы или мерзлотные пояса. Назначение противоналедного вала - задержать наледь с верховой стороны от благоустраиваемого участка. Валы отсыпаются из глинистых грунтов с шириной поверху 1-2 м, с полуторными откосами. Обычно высота валов 1-2,5 м. Основным недостатком противоналедных валов является фильтрация воды под их подошвой. Поэтому лучше применять валы в комбинации с водонепроницаемым

экраном (рис. 22). Экран представляет собой траншею, расположенную поперек движения грунтовых вод и заполненную глинобетоном. Низ экрана врезается в водоупорный слой (вечномерзлую толщу грунтов) на глубину не менее 0,5 м.

Мерзлотные пояса используются для борьбы с грунтовыми наледями при неглубоком залегании верхней границы вечномерзлых грунтов. Для получения мерзлотного пояса поперек направления движения надмерзлотных вод расчищается от снега и растительного слоя полоса грунта или устраивается мелкая широкая канава. Под такой полосой или канавой грунт быстро промерзает, и мерзлый грунт с поверхности сольется с грунтом вечномерзлой толщи, образуя водоупор для надмерзлотных вод (рис. 23). Это заставляет грунтовые воды искать выход на поверхность выше линии мерзлотного пояса. Таким образом, образование наледи можно переместить подальше от защищаемой территории и сохранить последнюю от непосредственного контакта с наледным льдом. Обычно мерзлотные пояса устраиваются на расстоянии не ближе 50 м от защищаемой территории. При значительном объеме наледи мерзлотный пояс устраивается в комбинации с противоналедным валом (рис. 24). Полоса расчистки для образования мерзлотного пояса в южных районах области вечномерзлых грунтов может быть не шире 3 м, а в северных районах достаточно иметь полосу шириной в I м.

Недостатком мерзлотных поясов является необходимость постоянного ухода за ними в процессе эксплуатации. Зимой следует регулярно очищать снег с полосы расчистки и складывать его ниже мерзлотного пояса (см. рис. 23). Перед наступлением теплого периода года мерзлотный пояс необходимо укрывать теплоизолирующим слоем из торфа или мха, чтобы предупредить интенсивность протаивания грунта сверху на оголенной полосе и предупредить этим понижение ВГМ. Поэтому в последнее время проводятся опыты устройства мерзлотных поясов при помощи автоматически действующих охлаждающих установок (термоохладителей)[x/].

Для целей борьбы с наледями целесообразно применять термоохладители системы С.И.Гапеева, однотрубные или двухтрубные,

---

x/ С.И. Гапеев. Укрепление мерзлых оснований охлаждением. Изд-во литературы по строительству. Л., 1969.

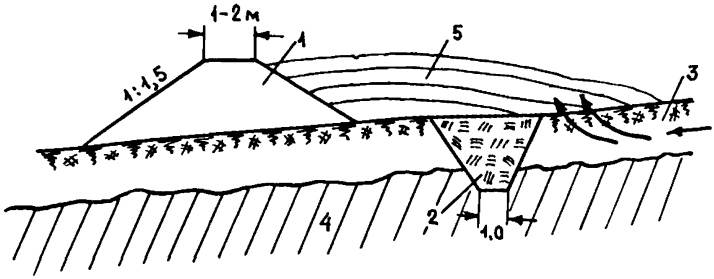


Рис. 22. Противоналедный вал с водонепроницаемым экраном: I - противоналедный вал; 2 - водонепроницаемый экран из глинобетона; 3 - водоносный слой; 4 - водоупор (вечномерзлый грунт); 5 - наледь

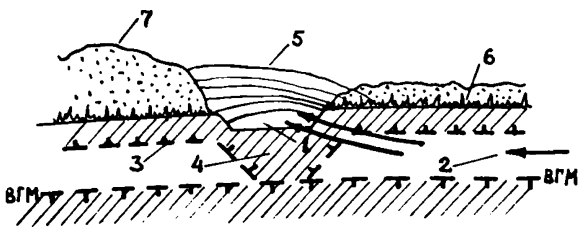


Рис. 23. Мерзлотный пояс: I - полоса расчистки; 2 - поток надмерзлотных вод;3 - линия промерзания грунта с поверхности; 4 - мерзлотный барьер; 5 - наледь; 6 - растительный покров; 7 - снег

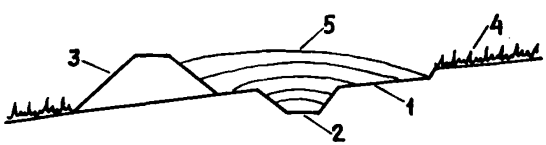


Рис. 24.Мерзлотный пояс в комбинации с противоналедным валом: I - полоса расчистки для образования мерзлотного пояса; 2 - канава для отвода воды при таянии наледи; 3 - противоналедный вал; 4 - растительный покров; 5 - наледь

в которых теплоносителем является керосин. Однотрубная охлаждающая установка (рис. 25, а) изготовляется из металлической трубы с внутренним диаметром не менее 100 мм (рекомендуется принимать 140-150 мм). В пределах слоя сезонного оттаивания

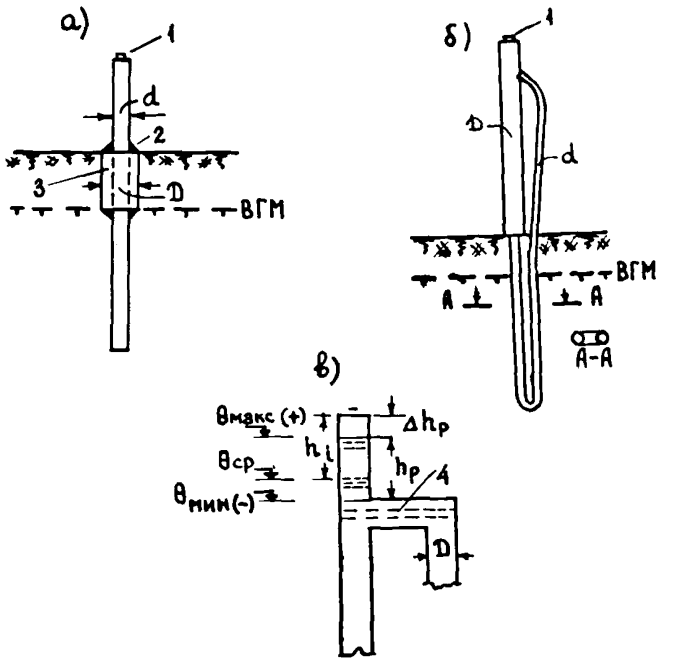


Рис. 25. Термоохладители системы С.И.Гапеева: а - однотрубный; б - двухтрубный; 1 - пробка; 2 - сварка; 3 - воздушный зазор 10-20 мм; 4 - керосин

установка снабжается металлическим кожухом, образующим воздушное кольцо размером 10-20 мм. В установке зимой происходит конвекция теплоносителя. Летом она не работает, так как холодный плотный керосин застаивается в нижней части трубы. Двухтрубная охлаждающая установка (рис. 25, б) представляет собой замкнутую систему металлических труб, имеющих разные диаметры ($d = 0{,}71D$). В двухтрубных термоохладителях зимой керосин циркулирует в тонкой трубе вниз с большой скоростью, в толстой трубе - с меньшей скоростью.

В охлаждающих установках уровень керосина в наиболее теплое время года должен быть ниже верхней крышки на 10–15 см. ($\Delta h_р$ = 0,10÷0,15 м, рис. 25,в). В зимнее время во избежание разрыва потока в трубах уровень керосина не должен опускаться ниже верха труб. Заполнение охлаждающих установок керосином нужно производить с учетом увеличения и **уменьшения его объема** в пределах расчетной амплитуды колебания температуры. Изменение объема керосина в термоохладителе в расчетном интервале температур от $\theta_{макс}$ (летом) до $\theta_{мин}$ (зимой) составляет

$$\Delta V = V(\theta_{макс} - \theta_{мин})\beta, \qquad (29)$$

где ΔV – изменение объема керосина, м^3;

V – объем керосина в термоохладителе, м^3;

β – коэффициент объемного расширения керосина, равный $1{,}1 \cdot 10^{-3}$ 1/°С.

Размер расширителя по высоте (м) определяется по формуле

$$\ell_р = h_р + \Delta h_р = \frac{4\Delta V}{\pi D^2} + (0{,}10 \div 0{,}15). \qquad (30)$$

Уровень керосина в расширителе, если керосин заливается в установку при среднем значении температуры ($\theta_{мин} < \theta_{ср} < \theta_{макс}$), должен быть ниже крышки на величину

$$h_і = (0{,}10 \div 0{,}15) + \frac{4V\beta(\theta_{макс} - \theta_{ср})}{\pi D^2}. \qquad (31)$$

При использовании охлаждающих систем для образования мерзлотного пояса термоохладители устанавливаются по линии, перпендикулярной направлению потока надмерзлотных вод. Двухтрубные охлаждающие установки целесообразно изготовлять с просветом между трубами в 1 м и устанавливать их с шагом в 1,5 м, как показано на рис. 26.

Холодопроизводительность (теплосъем) установок определяется по формуле

$$Q_т = V \cdot q_v \theta t, \qquad (32)$$

где $Q_т$ – количество тепла, отведенное из грунта за расчетный срок, ккал;

V – объем керосина в термоохладителе, м^3;

q_v – вынос тепла 1 м^3 керосина, ккал/м^3.ч.°С;

t – расчетный срок, ч.

Вынос тепла (q_v) зависит от системы охлаждающей установки и в расчетах принимается равным: для однотрубного термоохладителя 60; для двухтрубного 90 и для многотрубного 120 ккал/м^3.ч.^{0}С[x].

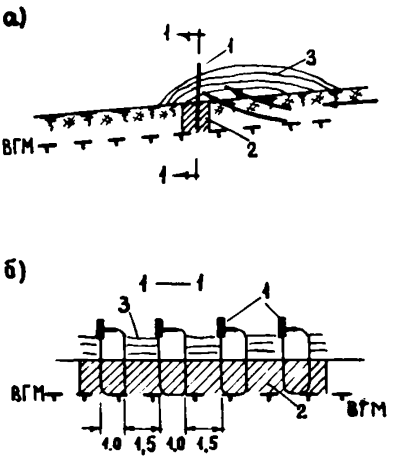


Рис. 26. Установка двухтрубных термоохладителей для образования мерзлотного пояса: а - поперечное сечение мерзлотного пояса; б - разрез; 1 - термоохладители; 2 - мерзлотный пояс; 3 - наледь

Расчет мерзлотных поясов сводится к установлению срока, в течение которого мерзлотный пояс образуется при принятой схеме установки термоохладителей. Предварительно надлежит определить, какое количество тепла необходимо извлечь из грунта, чтобы мерзлые грунтовые цилиндры, образующиеся вокруг термоохладителей, слились в один общий мерзлый массив. Это количество тепла (ккал) рассчитывается по формуле

$$Q_ц = \frac{\pi D^2}{4} H_т \left[8 \cdot 10^4 (W - W_н) \gamma_м + 0{,}5 C_т \theta_л \right], \qquad (33)$$

x/ По данным С.И.Галеева.

где D - диаметр мерзлого цилиндра грунта (м), при котором произойдет смыкание цилиндров;

$H_т$ - глубина сезонного оттаивания грунта (м), определяемая по формуле (I);

8.10^4 - теплота плавления льда, ккал/т;

W - влажность грунта, доли единицы;

$W_н$ - количество незамерзшей воды в грунте при температуре -1^0С. Определяется по табл. 5;

$\gamma_м$ - объемная масса скелета грунта при влажности W, т/м^3;

$C_т$ - объемная теплоемкость талого грунта, ккал/м^3.^{0}С. Определяется по графику на рис. 16;

$\theta_л$ - среднелетняя температура воздуха в данном районе, ^{0}С.

Условие образования мерзлотного пояса может быть записано как

$$Q_т \geqslant Q_ц. \qquad (34)$$

Порядок расчета дается в примере 12.

П р и м е р 12. Двухтрубные термоохладители для образования мерзлотного пояса установлены в Чульмане. Их расположение показано на рис. 26. Трубы приняты диаметром 150 мм; объем керосина в термоохладителе 180 л = 0,180 м^3. Необходимый для образования мерзлотного пояса диаметр мерзлого грунта D = 1,5+ 1,0 = 2,5 м. Средняя температура за теплый период года в Чульмане $\theta_л$ = 8,5^{0}С. Температура воздуха в начале зимнего периода:

Месяцы	X	XI	XII
θ ^{0}С	-7,5	-24,2	-34,5

Грунты - супеси с влажностью W = 50% и объемным весом 1,65 т/м^3. Следовательно, объемная масса скелета мерзлого грунта равна

$$\gamma_м = \frac{\gamma_0}{1+W} = \frac{1,65}{1+0,5} = 1,10 \text{ т/м}^3.$$

Количество незамерзшей воды (при температуре грунта -1^0С) по табл. 5 равно $W_н$ = 0,045. Объемная теплоемкость талого грунта по графику на рис. 16 $C_т$ = 750 кг/м^3.^{0}С.

Глубина сезонного оттаивания грунта $H_т$ по карте на рис. 2 и формуле (I), при влажности грунта 50% будет

$$H_т = k_ш H_к = 0,84 \cdot 2,8 = 2,35 \text{ м}.$$

Определяем значение $Q_ц$ по формуле (33)

$$Q_ц = \frac{3,14 \cdot 2,50^2}{4} \cdot 2,35 \left[8 \cdot 10^4 (0,5 - 0,045) \cdot 1,10 + 0,5 \cdot 750 \cdot 8,5 \right] =$$

$$= 11,52 (4,004 \cdot 10^4 + 3188) = 498 \cdot 10^3 \text{ ккал}.$$

Вычисляем по формуле (32) количество тепла, выносимого термоохладителем из грунта:

$$\theta_т = 0,180 \cdot 90 \cdot \theta t = 16,2\, \theta t \text{ ккал}.$$

в октябре $\theta t = 7,5 \cdot 31 \cdot 24 = 5580$; $Q_т = 16,2 \cdot 5580 = 90\,396$ ккал.

в ноябре $\theta t = 24,2 \cdot 30 \cdot 24 = 17420$; $Q_т = 282,269$ -"-

в декабре (за I0 дней) $\theta t = 34,5 \cdot 240 = 8280$; $Q_т = 134\,136$ -"-

Итого: $Q_т = 507\,10^3$ ккал.

$$Q_т = 507 \cdot 10^3 > Q_ц = 498 \cdot 10^3.$$

Следовательно, мерзлотный пояс образуется к I0 декабря.

Эффективным средством борьбы с ключевыми наледями являются дренажи и каптажные устройства. Применяются они в южной зоне области вечномерзлых грунтов при несливающейся криолитозоне, наличии таликов и залегании мерзлых грунтов отдельными островами.

С помощью дренажа перехватывается поток грунтовых вод и отводится в пониженные места рельефа. При наличии четко выраженного водоносного горизонта сооружается одноярусный дренаж. В случае нескольких водоносных горизонтов, выходящих по склону на разных отметках, применяются многоступенчатые дренажи. С успехом применяются и каптажные галереи с последующим отводом ключевых вод за пределы охраняемой территории.

Конструкции дренажей и каптажных устройств можно применять обычного типа, однако все выходящие на поверхность каптажные и дренажные сооружения - каптажные камеры, приемные и смотровые колодцы и т.п. - требуют усиленного утепления. В особенности это относится к железобетонным сооружениям, в которых из-за большой теплопроводности бетона вода быстро замерзает, соору-

жение забивается льдом и перед сооружением начинает образовываться наледь. В частности, оголовки отводных труб дренажа следует укладывать в утепленных коробах, а низ трубы на выходе располагать выше поверхности земли на I м и более.

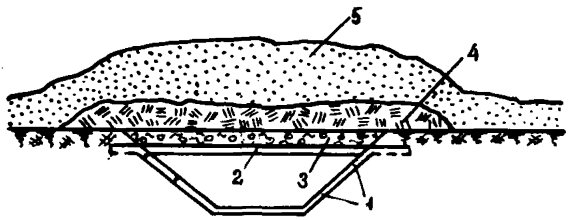


Рис. 27. Утепленная канава для отвода ключевых вод: I – просмоленные доски или плиты пенопласта; 2 – бревна ⌀ I2–I6 см через I м; 3 – жерди с ветками, уложенные вдоль канавы; 4 – мох или торф слоем 0,3–0,5 м; 5 – снег

Водоотводные канавы и лотки, отводящие ключевые воды, следует отеплять с боков и со дна деревянными просмоленными досками или плитами пенопласта, а сверху укрывать теплоизоляцией из торфа, мха и снега. Простейшая конструкция такой утепленной канавы показана на рис. 27.

ГЛАВА 2

ГОРОДСКИЕ И ПРИГОРОДНЫЕ ДОРОГИ

Сооружение дорог, улиц, площадей и мест стоянок автомашин на вечномерзлых грунтах осложняется из-за потери мерзлыми грунтами своей устойчивости при оттаивании. Дороги, построенные по обычным правилам, быстро приходят в негодность, а при наличии в основании сильнольдистых грунтов, особенно содержащих подземные льды, полностью оседают в грунт основания.

Обеспечение устойчивости дорог и улиц в области вечномерзлых грунтов требует особого расчета дорожных конструкций и определенных правил их сооружения.

§ 9. Архитектурно-планировочная организация застройки и транспортные пути города

Два основных положения определяют планировочную структуру населенных мест Крайнего Севера - компактность застройки, с концентрацией учреждений обслуживания,и полноценная защита человека от дискомфортной внешней среды (неблагоприятных климатических условий).

Во вновь создаваемых городах и поселках Крайнего Севера в нашей стране первое положение - компактность застройки-строго соблюдается. Однако второе положение - защита человека от дискомфортной среды-не соблюдается вовсе, так как для организации внутригородских перевозок пассажиров и грузов принимается традиционное решение - создание сети обычных улиц для одновременного движения по ним пешеходов и автотранспорта.

"Что касается всей системы пешеходных и транспортных путей, то и здесь практика строительства северных городов и поселков пока еще не дает ничего специфического. И здесь мы имеем дело с механическим повторением установившейся и даже уже устаревшей системы улиц, местных проездов и тротуаров... Понятно, что

такое положение не может удовлетворять градостроителей, так как вопрос передвижения населения в пределах жилых комплексов и к месту работы в условиях сурового климата требует к себе особого внимания.

Применение обыкновенного автобуса для поездок в пределах населенного места, да еще без теплых помещений на остановках, приводит к весьма тяжелым условиям передвижения населения. Доставка товаров к магазинам и громоздких вещей в жилые дома сопряжена с необходимостью проводить разгрузочные работы на сильном морозе, а в условиях Арктического района - еще и с возможными препятствиями в виде снежных заносов на путях следования и на хозяйственных дворах[x].

Отечественная и зарубежная архитектурная наука признает необходимость максимальной защиты человека от суровой внешней среды путем использования системы взаимосвязанных, укрытых от внешней среды пешеходных путей, создания теплых помещений для охидания транспорта и применения для городских и пригородных перевозок транспорта, наименее уязвимого в условиях сильных морозов, ветров и снежных заносов. Для районов, где имеется железная дорога общесоюзного значения или автономная железная дорога для местных промышленных нужд, целесообразно широко использовать для городских и пригородных перевозок железнодорожный транспорт с глубокими вводами в город и организацией перевозок по типу железнодорожного метрополитена. При этом остановки (станции) соединяются с пешеходными галереями в крытом и отапливаемом помещении, куда вводятся (при электрической тяге) поезда или одиночные электромотрисы. Это позволяет создать требуемый комфорт передвижения населения при городских и пригородных поездках[xx].

---

x/ Оль Г.А.,Римская-Корсакова Т.В.,Тенкаян В.Г. Планировка и застройка жилых комплексов Крайнего Севера. Л., Изд-во литературы по строительству, 1968, с.97.

xx/ Использование других перспективных видов городского транспорта - монорельсового и поездов на воздушной подушке или магнитной подвеске в условиях Крайнего Севера нереально из-за высокой стоимости строительства,чрезвычайно сложной эксплуатации в суровом климате и малых пассажиропотоков.

В городах и поселках, сооружаемых по правилам защиты человека от дискомфортной внешней среды, не должно быть улиц в обычном понимании. Движение людей и автомашин строго разграничивается. Потоки пешеходов и транспорта не пересекаются в одном уровне и не идут параллельно - по тротуарам и проезжей части. В границах застройки города магистральные автомобильные дороги сооружаются на насыпях или на эстакаде (рис. 28 и 29). Эстакада применяется в местах пересечения с пешеходными путями. Высота насыпи обычно 2,5-3 м, что обеспечивает ее устойчивость на вечномерзлых грунтах, предохраняет от снежных заносов и позволяет организовывать движение транспорта и пешеходов в разных уровнях. При глубоком вводе в город железной дороги с организацией железнодорожного метрополитена железнодорожный путь также сооружается на насыпях. Тупиковые съезды с автомагистралей в крытые отапливаемые (встроенные в здание) помещения для погрузки и выгрузки товаров устраиваются на насыпях или эстакадах без пересечения в одном уровне пешеходных путей (рис. 30).

Площади обычного городского типа и места стоянок автомашин (рис. 31) сооружаются в уровне красных отметок планировки с заменой грунта в их основании на расчетную глубину (см. § II). Подъезды к жилым комплексам сооружаются наподобие традиционных улиц (рис. 32). Глубина замены грунта под дорожной одеждой ($h_з$) определяется расчетом (см. § II).

Аллеи и дорожки для пешеходов трассируются по различным кратчайшим направлениям и, по возможности, с сохранением вдоль них естественного ландшафта и растительности (рис. 33). Конструктивно они устраиваются по типу парковых аллей на невысоких из-за наличия мерзлых грунтов основания насыпях. Высота насыпи принимается равной $0{,}7H_{оп}$, где ($H_{оп}$ - оптимальная высота насыпи). Ряд пешеходных дорожек совмещается с каналами и сетями санитарно-технических коммуникаций. В этом случае необходим расчет глубины замены грунта под санитарно-техническим каналом, который производится по правилам, изложенным в "Руководстве по проектированию водоснабжения и канализации населенных мест в районах распространения вечномерзлых грунтов" (ЛенЗНИИЭП, 1974).

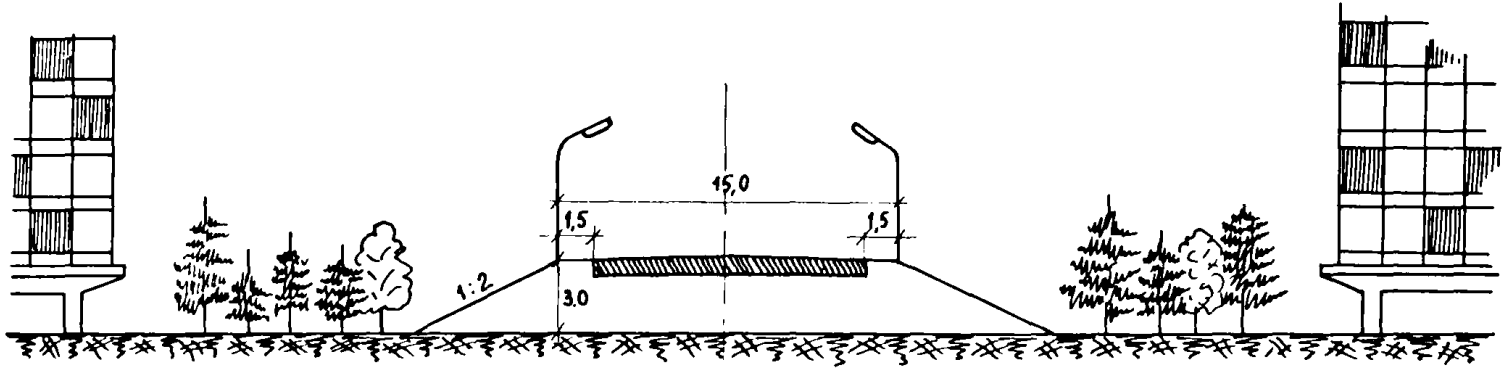


Рис. 28. Городская автомагистраль на насыпи

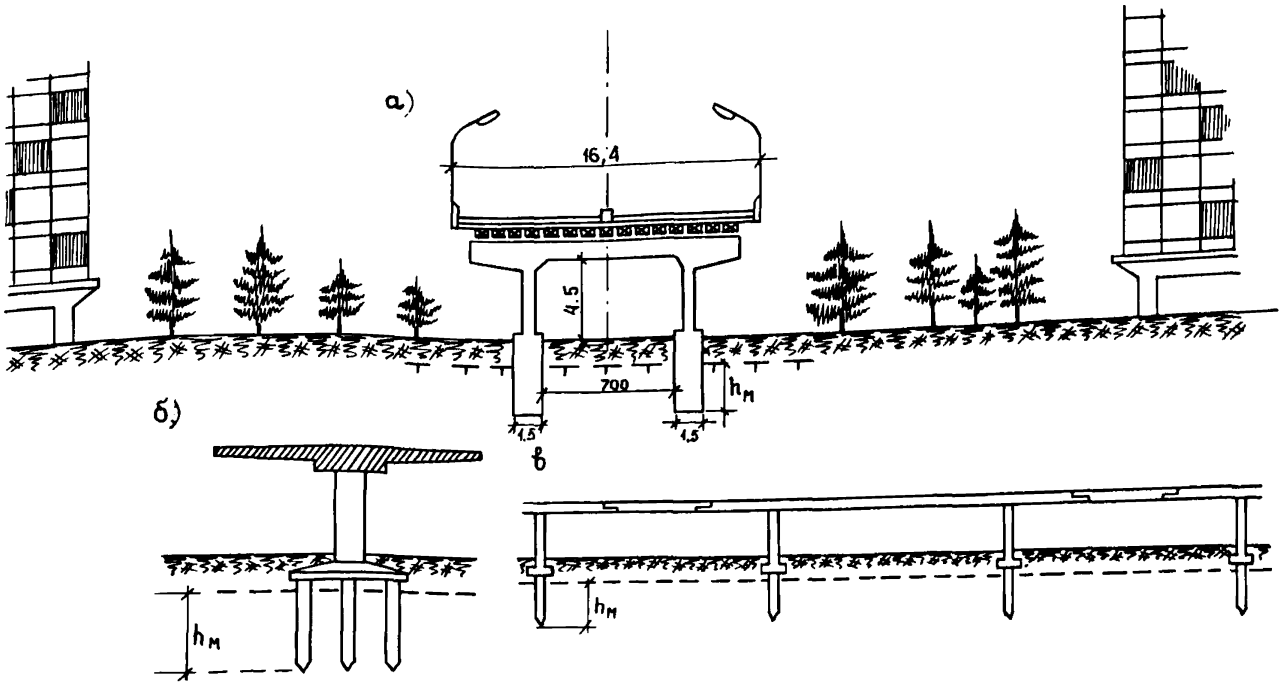


Рис. 29. Городская автомагистраль на эстакаде: а - на рамных опорах; б - на столбчатых опорах; в - продольный разрез пролетного строения

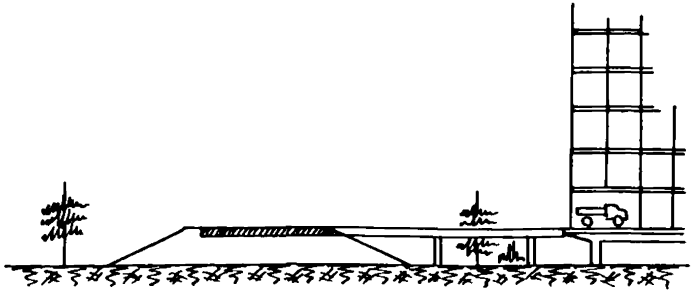


Рис. 30. Подъезд с автомагистрали к жилому комплексу

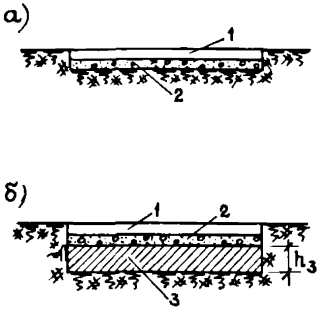


Рис. 31. Корыто для устройства площадей и мест стоянок автомашин: а – при грунтах I категории; б – при грунтах II и III категорий; 1 – дорожная одежда; 2 – песчано-гравийная подготовка; 3 – замененный грунт

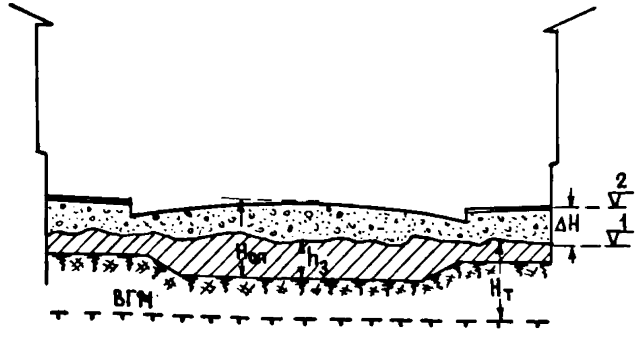


Рис. 32. Улица с заменой грунта в основании дорожной одежды: I – черная отметка (до планировки участка); 2 – красная отметка вертикальной планировки

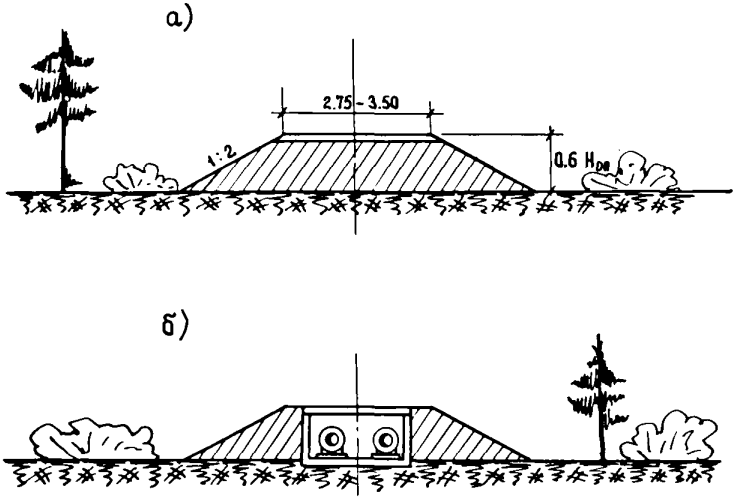


Рис. 33. Пешеходные дорожки: а - обычного типа; б - совмещенная с трассой санитарно-технических коммуникаций

§ IO. Дороги в пригородной зоне

За пределами городской застройки автомобильные и железные дороги сооружаются, как и обычно, на земляном полотне. Однако поперечные профили земляного полотна, сооружаемого на вечномерзлых грунтах, имеют ряд конструктивных особенностей в зависимости от мерзлотно-грунтовых условий, характеризующих трассу дороги на данном участке. Основным критерием для выбора той или иной конструкции земляного полотна служит категория грунта в основании дороги. Категория грунта определяется по дорожно-мерзлотной классификации грунтов по табл. 3.

На участках с залеганием грунтов I категории земляное полотно может сооружаться по обычным поперечным профилям без учета наличия вечномерзлых грунтов. Мохорастительный покров под насыпью и в полосе отвода нет необходимости сохранять. Работы могут производиться в любое время года. Насыпи можно сооружать из местных грунтов путем разработки резервов.

Для грунтов основания П-IУ категорий поперечные профили дорог даются в табл. 7 и 8. В этих же таблицах указываются основные правила производства работ, которые необходимо строго соблюдать. В противном случае, даже правильно запроектированная дорога может разрушиться или, во всяком случае, будет претерпевать различные деформации,недопустимые в эксплуатации.

На чертежах профилей указываются две величины: $H_{оп}$ (оптимальная высота насыпи) и $h_з$ (глубина замены грунта). Это расчетные величины, обеспечивающие устойчивость конструкции. Методика их расчета приводится в § II.

Ширина верхней площадки земляного полотна принимается по формуле

$$B' = B + 3S, \qquad (35)$$

где B - ширина верхней площадки земляного полотна по техническим условиям, м;

S - расчетная осадка, м . Берется по табл. 9.

Водоотводные сооружения на дорогах устраиваются в соответствии с категориями грунтов, данными в табл. 3. При грунтах I категории водоотводные сооружения проектируются по обычным правилам. При грунтах П и Ш категорий водоотводные канавы удаляются от подошвы откоса насыпи на известное расстояние,

Таблица 7

Поперечные профили насыпей

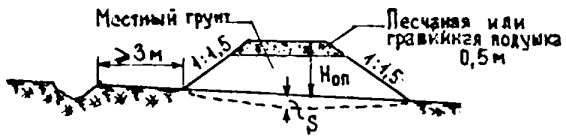
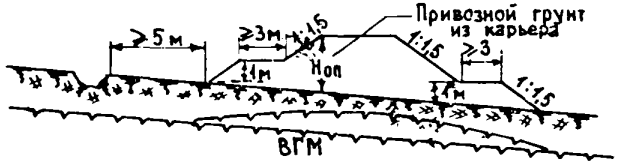
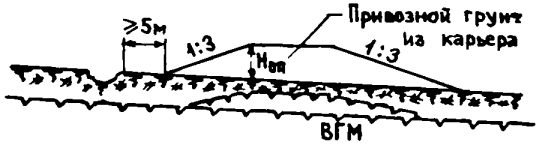
Схема конструкции	Область применения	Условия производства работ
 Схема I	На грунтах II категории для железных и автомобильных дорог.	Возводятся в теплый период года. Мохорастительный покров не сохраняется. Допустима разработка резервов глубиной не свыше 1м. Кювет-резервы не допускаются. Откосы для автомобильных дорог I:2 - I:3.
 Схема 2	На грунтах III категории, на устойчивом косогоре крутизной не более I:5. Для железных дорог.	Работы по отсыпке насыпи на высоту 0,75 $H_{оп}$ должны быть выполнены до наступления положительных температур воздуха. Грунт привозной, из карьеров. Мохорастительный покров сохраняется в основании насыпи и на расстоянии по 50 м от оси дороги. Рубка кустарника за пределами земляного полотна запрещается.
 Схема 3	На грунтах III категории, на устойчивом косогоре крутизной не более I:5. Для автомобильных дорог	То же, что и для схемы 2. При небольшом поперечном уклоне местности и небольшом значении $H_{оп}$ /что имеет место преимущественно в высоких широтах/ откос и с низовой стороны можно принимать I:3 без устройства бермы. При высоких насыпях и значительной крутизне косогора профиль для автомобильных дорог следует принимать по схеме 2.

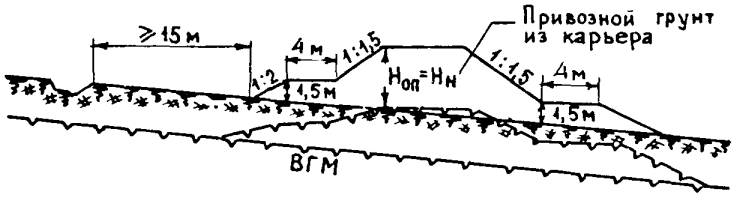
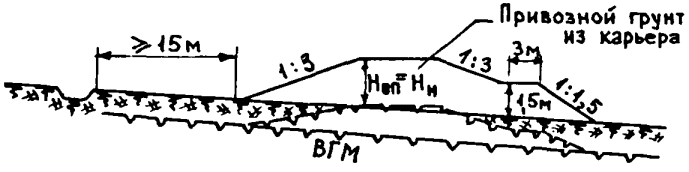
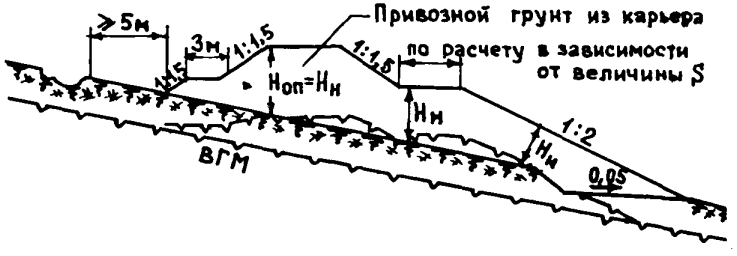
Схема конструкции	Область применения	Условия производства работ
 Схема 4	На грунтах IУ категории, на устойчивом косогоре крутизной не более I:5. Для железных дорог.	Те же, что и для схемы 2. На грунтах категории $IУ^б$ высота насыпи увеличивается на 0,5м и водоотводы проектируются индивидуально /водоотводные и нагорные канавы заменяются водоотводными валами-дамбами шириной по верху 3 м/. Большие массивы льда, залегающие на глубине до $2H_т$ необходимо удалять.
 Схема 5	На грунтах IУ категории, на устойчивом косогоре крутизной не более I:5. Для автомобильных дорог.	Те же, что и для схемы 4.
 Схема 6	На грунтах Ш категории, на неустойчивом косогоре /подверженном солифлюкции/ крутизной не более I:5. Для железных и автомобильных дорог.	Те же, что и для схемы 2.

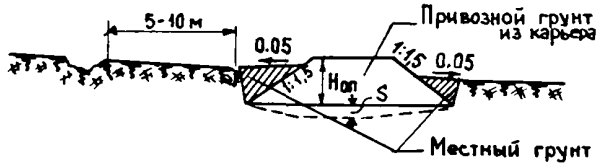
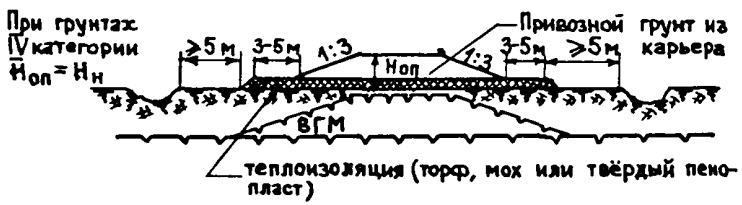
Схема конотрукции	Область применения	Условия производства работ
 Схема 7	Насыпи малой высоты /ниже оптимальной/ и на нулевых местах на грунтах III и IУ[а] категорий. Для железных и автомобильных дорог.	Работы по замене грунта и отсыпке насыпи должны быть закончены до наступления положительных температур воздуха. Мохорастительный покров сохраняется на расстоянии 50 м от оси дороги. Пазухи, образованные между откосами насыпи и траншей, засыпаются грунтом, полученным от разработки траншеи или оптимальной смесью /местный грунт + песок + гравий в пропорции по объему I:I:0,5. Расстояние между бровками траншеи и водоотводной канавы 5м при грунтах III категории и IO м при грунтах IУ[а] категории. Для автомобильных дорог откосы насыпи I:3.
При грунтах IУ категории Нап = Нн  Схема 8	Насыпь малой высоты со слоем теплоизоляции на грунтах III и IУ[а] категории. Для железных и автомобильных дорог.	Мохорастительный покров сохраняется в основании насыпи и по 50 м от оси дороги. Слой теплоизоляции укладывается в конце зимнего периода. Отсыпка насыпи может производиться при положительных температурах воздуха в весенний период продольной возкой. Бермы теплоизоляции 3 м при грунтах III категории и 5 м при грунтах IУ[а] категории.

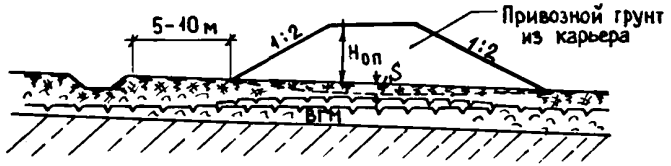
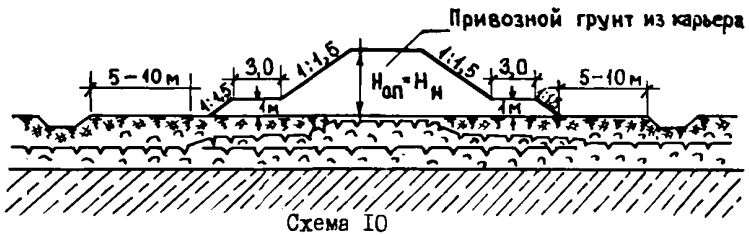
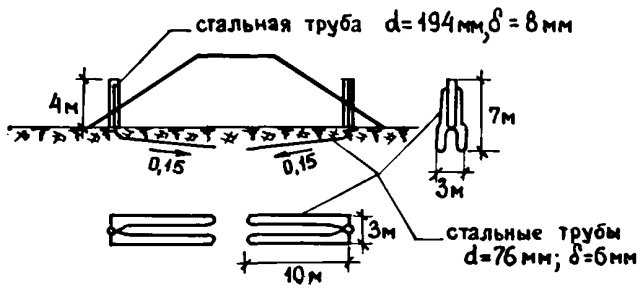
Схема конструкции	Область применения	Условия производства работ
 Схема 9	На торфах III категории просадочности. Для железных и автомобильных дорог.	Возведение насыпи производится в зимний период на высоту не менее 0,75 $H_{оп}$. Выторфование не производится. При мощности торфа менее 0,5 м насыпь проектируется по схемам, принимаемым по грунтам подстилающего слоя минеральных грунтов. При этом оптимальная высота насыпи рассчитывается с учетом наличия слоя торфа в основании насыпи. Для автомобильных дорог крутизна откосов насыпи I:3.
 Схема IO	На торфах IУ категории просадочности. Для железных и автомобильных дорог.	Возведение насыпи производится в зимний период на полную высоту $H_{оп}$. Выторфование не производится. Крутизна откосов на автомобильных дорогах I:2 - I:3.
 Схема II	На грунтах III и IУ категорий для железных дорог возле береговых опор мостов и у водопропускных труб. Применено на БАМ.	Охлаждающие установки изготовляются из горячекатанных стальных труб. Заполнение установок керосином производится после их размещения в проектное положение. Объем теплоносителя /керосина/ в установке 270 л.

Таблица 8

Поперечные профили выемок

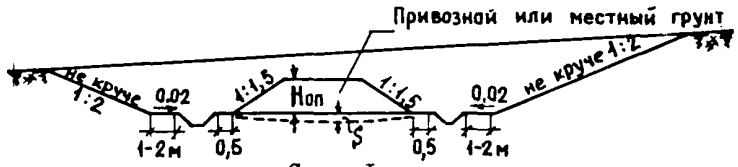
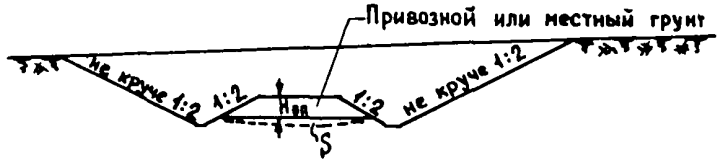
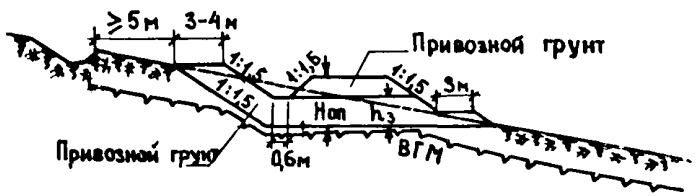
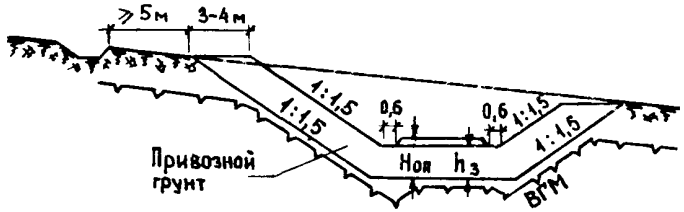
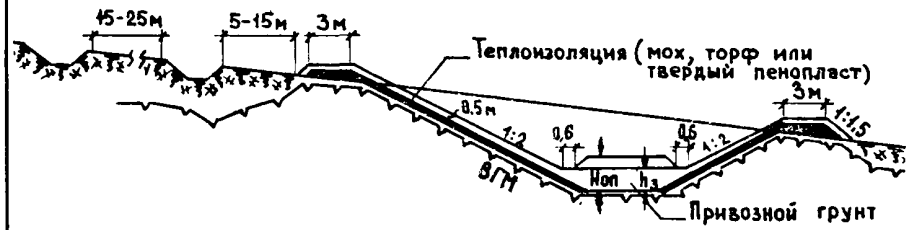
Схема конструкции	Область применения	Условия производства работ
 Схема I	В грунтах II категории. Для железных дорог.	Разрабатывается в любой период года. В летнее время разработка может вестись путем снятия слоев грунта по мере их оттаивания.
 Схема 2	В грунтах II категории. Для автомобильных дорог.	Те же, что и для схемы I. При глубоких выемках лучше применять профиль по схеме I, с закюветными полками.
 Схема 3	Полувыемка в грунтах III категории. Для железных и автомобильных дорог.	Разработка выемки разрешается только в зимнее время. Крутизна низового откоса полунасыпи для автомобильных дорог I:2 или I:3.

Схема конструкции	Область применения	Условия производства работ
 Схема 4	В грунтах Ш категории. Для железных и автомобильных дорог.	Разработка разрешается только в зимнее время. При глубине выемки более 6м необходима проверка устойчивости откосов. При дресвяных, щебенистых, гравийных и непылеватых песчаных грунтах Ш категории выемка сооружается по схеме I или схеме 2.
 Схема 5	В грунтах Ш категории с теплоизоляцией откосов. Для железных и автомобильных дорог.	Разработка только в зимнее время. Теплоизоляция из мха или торфа применяется только при наличии на место в достаточном количестве этих материалов. Толщина теплоизоляции корректируется в зависимости от экспозиции откосов.

указанное на схемах табл. 7[x/]. При поперечном уклоне местности круче I:5 следует назначать с нагорной стороны два ряда канав, относя второй ряд на 30–40 м от первого.

Укреплять канавы и кюветы следует железобетонными плитами или железобетонными по профилю канавы блоками, как указано на рис. II и I2.

При грунтах IУ категории водоотводные канавы устраивать нельзя, и отвод воды организовывается вдоль водоотводящих земляных валов (см. рис. I3).

При грунтах Ш и IУ категорий воду рекомендуется перепускать через земляное полотно на каждых 300–400 м по трассе дороги, сооружая в местах перепуска мосты малых отверстий, а не трубы (если высота насыпи не превышает 5 м), так как в условиях Крайнего Севера эксплуатация водопропускных труб затруднена (они забиваются льдом).

§ II. Обеспечение устойчивости насыпей

Устойчивость насыпи обеспечивается определенной ее высотой, при которой ВГМ (верхняя граница вечномерзлой толщи грунтов) сохраняется на определенном уровне и осадка насыпи в оттаявшее основание не будет превосходить допустимую величину (S). Такая высота насыпи, при которой осадка ее от оттаивания грунтов основания не будет превосходить допустимой величины, называется о п т и м а л ь н о й в ы с о т о й насыпи ($H_{оп}$). Если оптимальная высота насыпи получается ниже требуемой высоты по условиям снегозаносимости, то, естественно, принимается последняя.

Когда по условиям продольного профиля дороги нельзя иметь насыпь высотой $H_{оп}$ или более, то производится замена грунта в

---

x/ Практика проектирования и строительства Байкало-Амурской магистрали выработала эмпирическую формулу для удаления канав от подошвы откоса насыпи при грунтах Ш категории:

$$\ell = 35S,$$

где ℓ – расстояние между канавой и подошвой откоса насыпи, м;

S – относительное сжатие грунтов основания насыпи при их оттаивании под нагрузкой, определяемое по графику на рис. 7.

основании насыпи. Такая же замена производится и на нулевых местах. Глубина замены и высота надземной части в сумме должны составлять $H_{оп}$ (рис. 34). Замена производится тем же грунтом, из которого возводится насыпь, или оптимальной смесью (местный талый грунт, песок и гравий в соотношении I:I:0,5). В обоих случаях грунт замены надлежащим образом уплотняется.

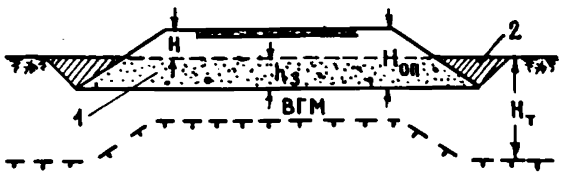


Рис. 34. Замена грунта в основании насыпей высотой менее оптимальной и на нулевых местах: I - грунт замены; 2 - местный грунт

Оптимальная высота насыпи (м) рассчитывается по формуле

$$H_{оп} = H_н - \frac{H_н S}{H_т}\left(\frac{1}{\delta} - 1\right) - S, \qquad (36)$$

где $H_н$ - глубина сезонного оттаивания конструкции насыпи с учетом дорожной одежды или балластной призмы железной дороги (см. формулу (5) в § I). Следовательно, эта конструкция многослойная и должна рассчитываться по одной из формул (2)-(4), при этом оттаивание каждого слоя дорожной одежды и балластной призмы делается с учетом поправочного коэффициента $K_п$;

$H_т$ - глубина сезонного оттаивания основания насыпи, рассчитываемая по формуле (I);

δ - относительное сжатие грунтов основания при оттаивании под нагрузкой. Берется по графику рис. 6 для автомобильных дорог и по графику рис. 7 - для железных дорог;

S - расчетная осадка насыпи в оттаявший грунт основания, м. Принимается по табл. 9.

Таблица 9

Расчетные осадки насыпей дорог

Вид сооружений и покрытия	Осадка S, см
Автомобильные дороги и улицы с:	
цементобетонным покрытием	0,5-I
асфальтобетонным покрытием	2-3
черным щебеночным (или гравийным) покрытием	5-6
щебеночным и гравийным покрытием	I0-I2
Железные дороги:	
магистральные на перегонах	8-I0
подъездные ветви и станционные пути	I2-I4

При расчете глубины оттаивания конструкции насыпи ($H_н$) влажность ее отдельных слоев принимается как нормативная по табл. I, а для расчета оттаивания основания насыпи ($H_т$) - по данным мерзлотно-грунтовых изысканий.

При грунтах основания насыпи, относимых к категории Iу^б, осадка насыпи в грунт основания не допускается из опасения возникновения термокарстов. Следовательно, $S = 0$, и формула (36) примет вид

$$H_{оп} = H_н . \qquad (37)$$

Пример I3. Определить оптимальную высоту насыпи автомобильной дороги в районе Салехарда. Грунты в основании насыпи - средние суглинки с влажностью 35% и числом пластичности $W_п = I2$. Насыпь возводится из карьерного песка средней крупности. Покрытие дороги - бетонные плиты толщиной 25 см, укладываемые непосредственно на грунт насыпи. Растительный покров в основании насыпи в процессе строительства не сохраняется.

Глубина сезонного оттаивания грунта по карте на рис. 2 и формуле (I) равна:

$$H_т = k_w H_к = 0{,}87 \cdot 2{,}2 = 1{,}91 \text{ м}.$$

Нормативная влажность для слоев конструкции насыпи по табл. I для плит покрытия 2%, для тела насыпи 7%. Глубина оттаивания слоев дорожной конструкции:

слоя покрытия (бетонные плиты) по карте на рис. I и формуле (5):

$$H_т = K_п k_w H_к = 1{,}37 \cdot 1{,}1 \cdot 3{,}0 = 4{,}52 \text{ м};$$

тела насыпи по карте на рис. 3 (песчаные грунты, подстилаемые глинистым) и по формуле (I):

$$H_т = k_w H_к = 0{,}95 \cdot 2{,}65 = 2{,}52 \text{ м}.$$

Глубина оттаивания всей дорожной конструкции (покрытия и насыпи) согласно формуле (2)

$$H_н = 2{,}52 - \frac{2{,}52}{4{,}52} 0{,}25 + 0{,}25 = 2{,}63 \text{ м}.$$

Расчетную осадку по табл. 9 принимаем $S = 0{,}0I$ м.

Относительное сжатие грунтов основания по графику на рис.6 $\delta = 0{,}09$.

Оптимальная высота насыпи по формуле (36):

$$H_{оп} = 2{,}63 - \frac{2{,}63 \cdot 0{,}0I}{I{,}9I} \left(\frac{I}{0{,}09} - I\right) - 0{,}0I = 2{,}48 \text{ м}.$$

Насыпь надо отсыпать на высоту 2,48 - 0,25 = 2,23 м.

Пример I4. Рассчитать оптимальную высоту насыпи железной дороги в районе Олекминска при следующих условиях. В основании насыпи уложен слой теплоизоляции из торфа высотой в плотном теле 0,25 м. Сама насыпь отсыпана из мелких пылеватых песков, добываемых из карьера. Балластный слой щебеночный, высотой 0,40 м, считая до верха шпал. Грунты в основании насыпи - моренные суглинки с примесью щебня и гальки до 30%. Влажность грунтов основания 45%, число пластичности $W_п = 9$. Мохорастительный покров толщиной 0,I0 м сохраняется в процессе строительства под насыпью и в полосе отвода.

Глубину сезонного оттаивания грунтов основания насыпи рассчитываем как двухслойную толщу по формуле (2). Для верхнего слоя (мох) по карте на рис. 4 находим $H_т = 0{,}65$ м. Для нижнего слоя (моренный суглинок), на основании формулы (I) и карты рис. 2, получаем $H_т = 0{,}85 \cdot 2{,}5 = 2{,}I3$ м.

$$H_т = 2{,}I3 - \frac{2{,}I3}{0{,}65} \cdot 0{,}I0 + 0{,}I0 = I{,}99 \text{ м}.$$

Дорожная конструкция насыпи состоит из трех слоев. Толщина верхнего слоя (балластная призма) и нижнего (торфяная подушка) известны. Толщина среднего слоя (тело насыпи) неизвестна. Чтобы воспользоваться методом эквивалентных слоев (см. с.8), поменяем условно порядок слоев (на результатах расчета это не отразится) и будем считать вторым слоем торфяную подушку, а третьим - грунт самой насыпи. Нормативная влажность (по табл. I): для первого слоя (щебеночный балласт) - 3%, для второго слоя (торфяная подушка) влажность не принимается в расчет (см. с.8), для третьего слоя (песок мелкий пылеватый) - 9%. Определяем глубину оттаивания каждого слоя в отдельности:

$H_т^{I}$ = I,25.I,05.3,2 = 4,I9 м - по карте на рис. I и формуле (5),

$H_т^{II}$ = 0,65 - по карте на рис. 4,

$H_т^{III}$ = 0,93.3,I = 2,88 - по формуле (I), карта рис. 3.

Для трехслойной конструкции по формуле (3) находим:

$$H_н = 2,88 - \frac{2,88}{4,I9}\,0,40 - \frac{2,88}{0,65}\,0,25 + 0,40 + 0,25 = 2,I5 \text{ м.}$$

По графику на рис. 7 при $W = 45\%$ и $W_П = 9$ относительное сжатие грунтов основания $\delta = 0,27$. Так как в грунте имеются крупные включения, вносим поправку по табл. 2 и принимаем $\delta = 0,8.0,27 = 0,22$. Расчетная осадка насыпи по табл. 9 $S = 0,08$ м. Полученные величины подставляем в формулу (36):

$$H_{оп} = 2,I5 - \frac{2,I5.0,08}{I,99}\left(\frac{I}{0,22} - I\right) - 0,08 = I,76 \text{ м.}$$

Посмотрим, какая должна быть высота насыпи, если исключить теплоизолирующую торфяную подушку в ее основании. Глубина оттаивания насыпи как двухслойной конструкции (балластная призма, тело насыпи) по формуле (2), принимая во внимание, что $H_т^{I} = 4,I9$ и $H_т^{II} = 2,88$ м, будет

$$H_н = 2,88 - \frac{2,88}{4,I9}\,0,40 + 0,40 = 3,0I \text{ м.}$$

Оптимальная высота насыпи по формуле (36):

$$H_{оп} = 3,0I - \frac{3,0I.0,08}{I,99}\left(\frac{I}{0,22} - I\right) - 0,08 = 2,50 \text{ м.}$$

Высота насыпи за вычетом толщины балластного слоя в первом случае будет I,36 м и во втором - 2,I0 м.

Формула (36) является также критерием при определении свойств вечномерзлых грунтов для целей дорожного строительства. Если в результате расчета оптимальной высоты насыпи будет получена отрицательная величина, то это значит, что при данных грунтовых условиях и данном классе (категории) дороги нет необходимости считаться с вечномерзлыми грунтами и можно строить дорогу по обычным техническим условиям.

П р и м е р 15. Определить оптимальную высоту насыпи автомобильной дороги в районе Туруханска. Грунты в основании насыпи – суглинки с влажностью 32% и числом пластичности $W_п = 13$. Насыпь возводится из резервов, т.е. из того же суглинка. Растительный покров не сохраняется. Покрытие дороги гравийное толщиной 12 см.

Глубина сезонного оттаивания грунтов основания насыпи (по формуле (1) и карте на рис. 2) $H_т = 0,88.2,3 = 2,02$ м.

Нормативная влажность слоев дорожной конструкции по табл. 1: верхний слой (гравий) 3, нижний слой (суглинок) 15%. Оттаивание слоев дорожной конструкции:

гравийного покрытия $H'_т = 1,21.1,05.2,7 = 3,43$ м по формуле (5) и карте на рис. 3;

тела насыпи $H''_т = 1,0.2,3 = 2,3$ м по формуле (1) и карте на рис. 2.

По формуле (2) для двухслойной конструкции получаем

$$H_и = 2,3 - \frac{2,3}{3,43} \cdot 0,12 + 0,12 = 2,34 \text{ м.}$$

По графику на рис. 6 находим относительное сжатие грунтов основания насыпи при их оттаивании $\delta = 0,05$. Расчетная осадка насыпи по табл. 9 $S = 0,12$ м. По формуле (36) получаем

$$H_{оп} = 2,34 - \frac{2,34.0,12}{2,02} \left(\frac{1}{0,05} - 1\right) - 0,12 = -0,30 \text{ м.}$$

Оптимальная высота насыпи получилась отрицательной, что указывает на возможность не считаться с вечномерзлыми грунтами и сооружать насыпь любой высоты. Однако это справедливо лишь для данных технических условий дороги. Если, например, для тех же грунтовых условий дорога проектируется с асфальтобетонным покрытием (слой асфальтобетона 8 см, слой подготовки из щебня 12 см), то, сделав подобный же расчет, получим

положительную величину оптимальной высоты насыпи $H_{оп}$ = I,74 м, и только при такой высоте насыпи асфальтобетонное покрытие не разрушится.

Для автомобильных дорог с "черным" покрытием (асфальтобетон, щебеночные и гравийные покрытия, обработанные органическими вяжущими) в расчет оптимальной высоты насыпи вводится поправка на альбедо - отражательную способность поверхности. В этом случае формула (36) принимает вид:

$$H_{оп} = к_{ал}\left[H_{и} - \frac{H_{н}S}{H_{т}}\left(\frac{1}{\delta} - 1\right) - S\right], \qquad (38)$$

где $к_{ал}$ - коэффициент, получаемый по табл. IO.

Таблица IO[x/]

Коэффициент поправки на альбедо $к_{ал}$

Средняя температура воздуха за теплый период года, °С	Грунт насыпи	
	песок или гравий	глинистый
3	I,I8	I,25
4	I,I5	I,20
5	I,I3	I,I7
6	I,I2	I,I5
7	I,II	I,I4
8	I,I0	I,I3
9	I,I0	I,I2
I0	I,09	I,I2
II и выше	I,09	I,II

В горных районах и при сильно пересеченной местности в расчет оптимальной высоты насыпи вводится поправка на экспозицию склона для участков дороги, проходящих по склонам южной экспозиции. Оптимальная высота насыпи в этом случае определяется по формуле

$$H_{оп} = к_{э}H_{н} - \frac{H_{н}S}{H_{т}}\left(\frac{1}{\delta} - 1\right) - S, \qquad (39)$$

где $к_{э}$ - коэффициент поправки для склонов южной экспозиции. Берется по табл. II.

---

x/ Таблица составлена по данным Н.В.Алабышевой.

Таблица II

Поправочный коэффициент $K_э$ для склонов южной экспозиции

Местоположение района	$K_э$
Южнее Северного Полярного круга	I,05-I,I0
Северный Полярный круг - широта 70°	I,I0-I,I5
Севернее широты 70°	I,I5-I,25

Примечание. Меньшие значения следует брать для более пологих склонов крутизной I:5 - I:4 и большие - для крутых склонов.

В области вечномерзлых грунтов насыпи на торфяных болотах можно возводить без выторфовывания основания (в зимнее время), определяя необходимую высоту насыпи из минеральных грунтов по формуле (36). При этом величина $H_т$ берется по карте на рис. 4, а величина δ - из данных, приведенных на с.I4 .При несливающейся криолитозоне осадка торфа под насыпями рассчитывается, как указано на с.I8.

Рассчитав оптимальную высоту насыпи на однородных по грунтовым условиям участках, приступают к составлению продольного профиля дороги. До нанесения на продольный профиль проектной (красной) линии делают фиксированные (контрольные) отметки бровки полотна ($H_{оп}$ минус высота дорожной одежды или балластного слоя, минус высота сливной призмы). На продольном профиле размечаются участки с залеганием грунтов различной категории (по табл. 3), в зависимости от которой применяется тот или иной метод проложения проектной линии. На участках грунтов Ш и IУ категорий продольный профиль следует наносить по принципу обертывающей проектировки, стремясь к тому, чтобы красная линия прошла возможно ближе к контрольным отметкам. Прокладка линии выше контрольных отметок допустима и часто необходима для получения более спокойного профиля дороги. Можно допускать проложение проектной линии ниже контрольных отметок не более чем на I0 см и только на коротких участках.

Там, где эти условия соблюсти невозможно, высота насыпей получается ниже оптимальной высоты. На всех таких участках, так же как и на нулевых местах и в выемках, следует рассчитать глубину вырезки для замены грунта в основании земляного полотна.

На участках I и II категорий красную линию допустимо наносить по методу секущей проектировки, со срезкой местных возвышенностей. Однако и здесь следует отдавать предпочтение обертывающей проектировке, так как разработка выемок, даже неглубоких, в мерзлых грунтах представляет немалые трудности.

§ I2. Обеспечение устойчивости выемок, нулевых мест и городских улиц

Различают два вида деформаций в выемках, сооружаемых в вечномерзлых грунтах (рис. 35): сползание или обрушение откосов выемки при их оттаивании и осадка верхней площадки земляного полотна (дна выемки).

Против сползания откосов принимаются следующие меры: откосы делаются пологими или их покрывают слоем теплоизоляции.

Устойчивость дорожной одежды или рельсовой колеи в выемке обеспечивается одним из двух способов: выемка разделывается под насыпь (рис. 36а) или на дне выемки производится замена грунта (рис. 36,б).

Замена грунта на дне выемки рассчитывается по формуле

$$h_з = H_{оп} - H , \qquad (40)$$

где $H_{оп}$ - оптимальная высота насыпи, рассчитываемая по формуле (36). В этом случае величина $H_т$, входящая в формулу (36), представляет собой слой не сезонного оттаивания грунта с поверхности, а оттаивания грунтов на дне выемки за теплый период года;

H - высота дорожной одежды или балластной призмы.

П р и м е р I6. Определить глубину замены грунта на дне выемки железной дороги, проектируемой в районе Сеймчана (верхнее течение реки Колымы). Балластный слой - песок средней крупности, высота балластной призмы $H = 0{,}60$ м. Грунты, залегающие на дне выемки, - суглинки средние с влажностью $W = 30\%$ и с числом пластичности $W_п = I0$. Замену грунта на

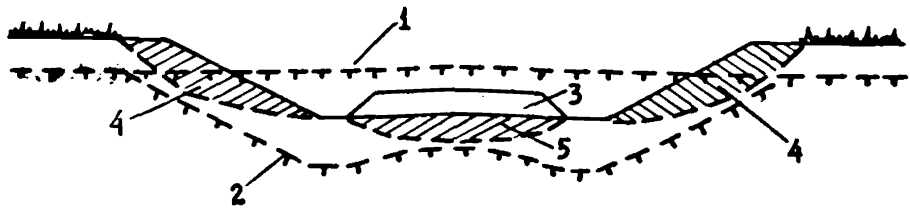


Рис. 35. Деформации в выемках, сооружаемых в вечномерзлых грунтах: I - ВГМ до сооружения выемки; 2 - ВГМ после сооружения выемки; 3 - балластный слой или основание дорожного покрытия; 4 - зона сползания откосов; 5 - осадка верхней площадки земляного полотна

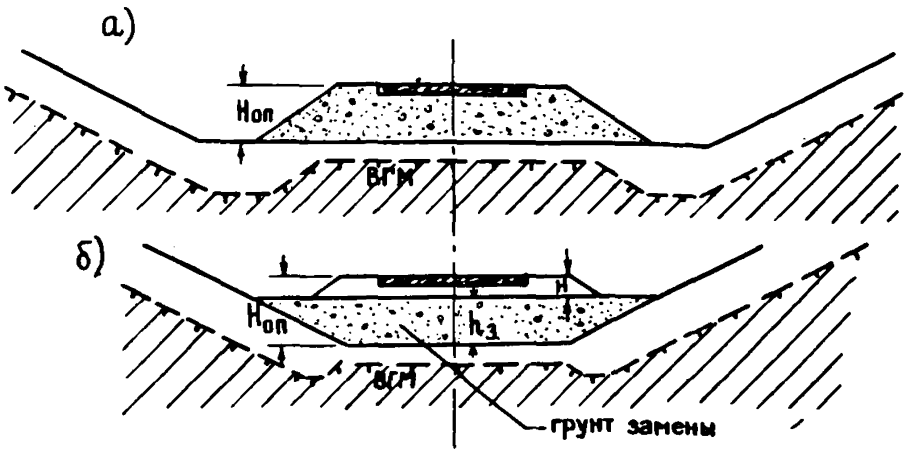


Рис. 36. Способы регулирования ВГМ на дне выемки: а - разделка выемки под насыпь; б - замена грунта на дне выемки

дне выемки предполагается произвести материалом из балластного карьера, т.е. тем же песком средней крупности.

Глубина сезонного оттаивания грунта на дне выемки по формуле (I) и карте на рис. 2 равна $H_т = 0,9.2,I = I,89$ м. Глубину оттаивания балластной призмы и грунта замены рассчитываем как двухслойную толщу. Грунты слоев одинаковы, но влажность их различна; для балластного слоя нормативная влажность по табл. I равна $W = 7\%$, а для грунтов замены, принимая во внимание примечание к табл. I, $W = I,25.7 = 9\%$. Кроме того, для балласта значение $H_к$ (глубина по изолиниям) надо брать по карте на рис. I, как для песка, подстилаемого песчаным грунтом ($H_к = 2,9$ м, а для песка замены - по карте на рис. 3, как для песчаных грунтов, подстилаемых глинистыми грунтами ($H_к = 2,5$ м). Тогда по формуле (I) получаем: $H'_т = 0,98.2,9 = 2,84$ м и $H''_т = 0,92.2,5 = 2,30$ м. По формуле (2) рассчитываем глубину оттаивания дорожной конструкции:

$$H_н = 2,30 - \frac{2,30}{2,84}\ 0,60 + 0,60 = 2,4I \text{ м.}$$

Глубина замены грунта по формуле (40) будет:

$$h_з = I,29 - 0,60 = 0,69 \text{ м.}$$

Относительное сжатие при оттаивании грунтов, залегающих на дне выемки, по графику на рис. 7 равно $\delta = 0,09$. Расчетная осадка по табл. 9 $S = 0,08$ м. По формуле (36) находим

$$H_{оп} = 2,4I - \frac{2,4I.0,08}{I,89}\ (\frac{I}{0,09} - I) - 0,08 = I,29 \text{ м.}$$

Во избежание пучения основной площадки земляного полотна замену грунта на дне выемки следует делать на глубину не менее 0,8 м даже в тех случаях, когда расчет дает меньшую глубину. При значительной замене грунта выгоднее на дно котлована под слой засыпки укладывать слой теплоизоляции (торф или твердый пенопласт).

Глубина замены грунта в основании низких насыпей (высотой менее оптимальной) и на нулевых местах рассчитывается также по формуле (40), принимая в ней H как высоту надземной части насыпи с дорожной одеждой или балластной призмой (см. рис. 34).

Расчет крутизны откосов выемки производится по формуле (9), а теплоизоляция откосов - по формуле (I2).

На городских улицах, площадях и проездах, сооружаемых в уровне красных отметок планировки, производится замена грунта в основании проезжей части. Глубина замены (см. рис. 32) рассчитывается по формуле

$$h_з = H_{оп} - \Delta H, \qquad (41)$$

где ΔH- высота слоя между красными и черными отметками вертикальной планировки.

Под тротуарами замена производится на меньшую глубину-0,7 м.

Пример 17. В Норильске по проекту вертикальной планировки отметка проезжей части улицы задана на данном участке выше поверхности грунта естественного залегания на 92 см. Грунты на участке строительства - тяжелые супеси с влажностью 28%, с числом пластичности $W_п = 5$. Конструкция дорожной одежды проектируется следующая: покрытие из асфальтобетонной смеси высотой 8 см; основание под покрытием - слой щебня высотой 12 см; ниже гравийно-песчаная смесь с примесью пылеватых частиц (грунт подсыпки при вертикальной планировке). Из этого же грунта будет производиться замена грунта под улицей. Определить необходимую замену грунта в основании улицы.

Глубина сезонного оттаивания грунта основания $H_т = 0,9 . 1,8 = 1,62$ м (по формуле (1) и по карте на рис. 2). Нормативную влажность конструктивных слоев улицы определяем по табл. 1: верхний слой (асфальтобетон) - 1; второй слой (щебень) - 4; нижний слой (гравийно-песчаная смесь) - 9%[x]. Глубина сезонного оттаивания этих слоев:

$H_т^I = 1,30 . 1,1 . 2,6 = 3,72$ м-по формуле (5) и карте на рис. 1;

$H_т^{II} = 1,25 . 1,05 . 2,6 = 3,40$ м - по формуле(5)и карте на рис.1;

$H_т^{III} = 1,13 . 0,93 . 2,1 = 2,21$м- по формуле (5) и карте на рис.3.

Глубина сезонного оттаивания конструкции насыпи по формуле (3) равна

$$H_н = 2,21 - \frac{2,21}{3,72}\ 0,08 - \frac{2,21}{3,40}\ 0,12 + 0,08 + 0,12 = 2,28 \text{ м}.$$

По графику на рис. 6 определяем относительное сжатие грунтов основания при оттаивании $\delta = 0,10$. Расчетную осадку дорож-

---

x/ Для гравия влажность равна 5, для мелкого песка 8, среднее значение влажности 7%. Для слоя замены, согласно примечанию к табл. 1, надо принять $W = 1,25 . 7 = 9\%$.

ной конструкции принимаем по табл. 9: S =0,03 м. Средняя температура воздуха в Норильске за теплый период года 8,5°С. По табл.10 поправочный коэффициент для "черных" покрытий $K_{доп}$=1,10. Оптимальная высота насыпи по формуле (38) равна

$$H_{оп}=1,10\left[2,28-\frac{2,28\cdot0,03}{1,62}\left(\frac{1}{0,10}-1\right)-0,03\right]=2,06\text{ м.}$$

Так как высота слоя между красными и черными отметками ΔH = 0,92 м, то согласно формуле (41) глубина замены грунта $h_з$ = 2,06 - 0,92 = 1,14 м.

§ 13. Дорожные одежды автомобильных дорог и улиц

Дорожные одежды устраиваются по насыпному грунту (в насыпях) или на слое замененного грунта(в выемках и на нулевых местах). Могут применяться обычные типы дорожных одежд, но с учетом суровых климатических условий.

Предпочтение следует отдавать готовым бетонным плитам или покрытиям, устраиваемым из смесей, приготовленных в установке на вязких битумах и не требующих времени на формирование.Только при небольших объемах работ допускается проектировать покрытия, получаемые смешением на дороге или устроенные по способу пропитки.

При работах в условиях пониженных температур воздуха необходимо применять асфальтобетонные смеси теплого типа (температура нагрева смеси в зависимости от марки битума от 70 до 130°С), что дает возможность производить работы по устройству покрытий при отрицательных температурах воздуха до -15°С.

Применяются и жесткие бетонные и железобетонные покрытия (монолитные и сборные) из отдельных плит, укладываемых на песчаную подготовку. При использовании для дорожных покрытий "холодного бетона" количество добавок хлористых и фтористых солей назначается в зависимости от температуры воздуха при укладке. При добавке солей до 12% от массы цемента возможно производить укладку покрытия при температуре воздуха до -20°С.

Следует иметь в виду, что асфальтобетонные и вообще "черные" покрытия требуют более высоких насыпей по сравнению с покрытиями щебеночными и цементобетонными. Объясняется это малой

отражательной способностью черных поверхностей, благодаря чему температура на таких поверхностях выше, и грунты под ними оттаивают более интенсивно. Увеличение высоты насыпей и глубины замены грунта в выемках под черным покрытием учитывается при расчетах особым коэффициентом (см. формулу (38) и табл. 10).

Дорожная конструкция на вечномерзлых грунтах состоит из следующих слоев (рис. 37):

1) дорожная одежда (покрытие и его основание) толщиной H;

2) деформируемый слой, состоящий, в свою очередь, из двух слоев: грунта насыпи или грунта замены (на нулевых местах и в выемках), толщина которого равна $H_{оп}-H$, и слоя оттаявшего мерзлого грунта, толщина которого равна S/δ;

3) недеформируемое (условно) основание из мерзлого грунта.

Условные обозначения здесь те же, что и в § 11 и 12, т.е.: $H_{оп}$ - оптимальная высота насыпи, определяемая по формуле (36); S - расчетная осадка насыпи, определяемая по табл. 9; δ - относительное сжатие мерзлого грунта при оттаивании, определяемое по графику на рис. 6.

Расчет дорожных одежд нежесткого типа производится по действующей инструкции ВСН 46-72 Минтрансстроя СССР[x] с учетом некоторых особенностей, изложенных ниже:

1. Для назначения расчетных характеристик грунтов и дорожных материалов область вечномерзлых грунтов (I климатическая зона по СНиП П-Д.5.72)разделяется на четыре района(рис.38)[xx]:

I_1 - район высокой влажности грунтов сезонноттаивающего слоя (влажность грунтов W выше границы текучести $W_т$);

I_2 - район умеренно высокой влажности грунтов сезонноттаивающего слоя (влажность грунтов $W = 0{,}8\text{-}1{,}0W_т$);

I_3 - район малой влажности грунтов сезонноттаивающего слоя (влажность грунтов менее $0{,}8\ W_т$);

I_4 - район островной вечной мерзлоты.

2. При назначении расчетных характеристик грунтов в границах каждого района показатель "Тип местности по характеру и

---

x/ Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. М., "Транспорт", 1973.

xx/ Карта заимствована из книги"Земляное полотно автомобильных дорог в северных условиях". Под редакцией А.А.Малышева. М., "Транспорт", 1974.

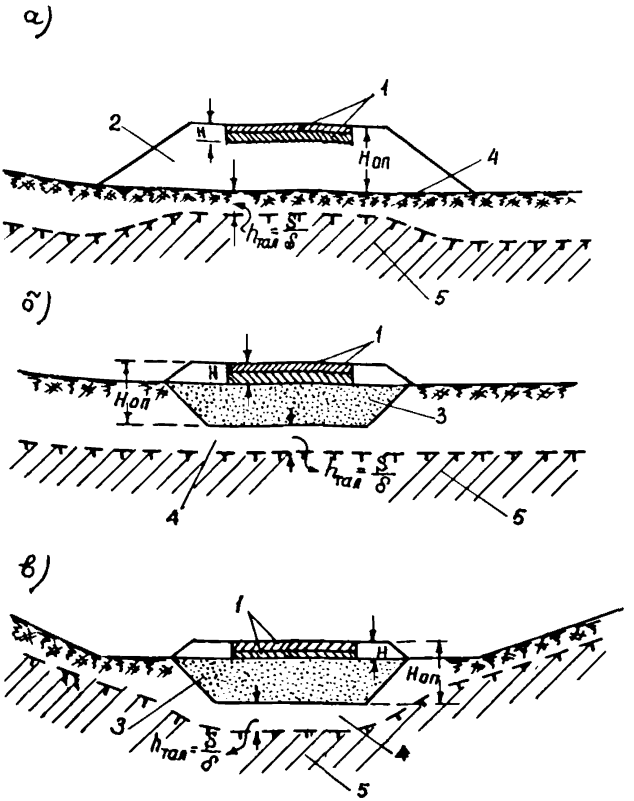


Рис. 37. Слои дорожной конструкции с различными деформативными и прочностными характеристиками: а – в насыпях; б – в насыпях высотой менее оптимальной и на нулевых местах; в – в выемках; I – слои дорожной одежды; 2 – грунт насыпи; 3 – слой замененного грунта; 4 – слой оттаявшего мерзлого грунта; 5 – грунты вечномерзлой толщи

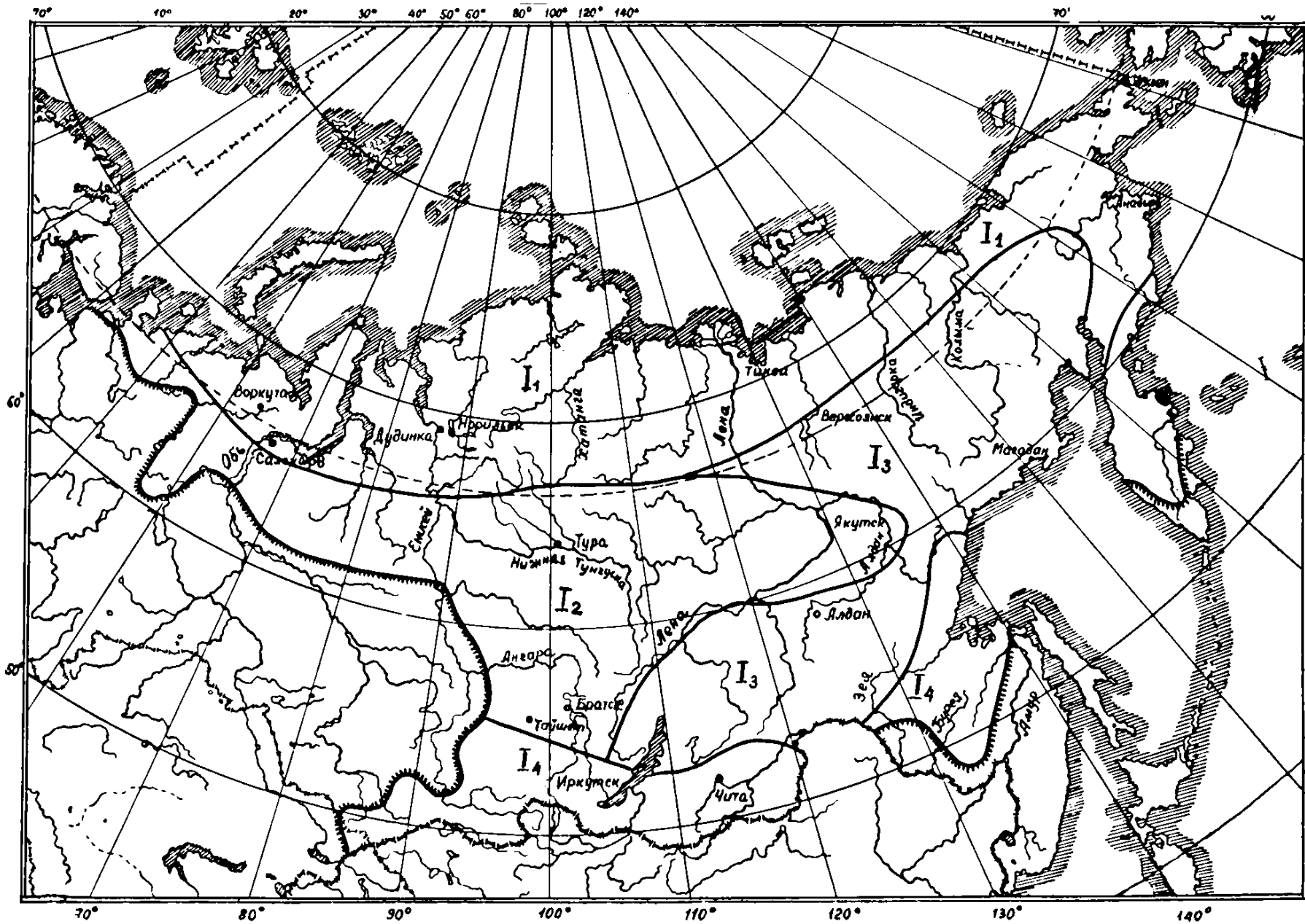


Рис. 38. Деление зоны вечной мерзлоты на дорожно-климатические районы

степени увлажнения", принятый в ВСН 46-72, заменяется категориями грунтов по табл. 3, а именно:

участки,сложенные грунтами I категории просадочности, следует относить к I типу местности ("сухие места");

участки, сложенные грунтами II категории, - ко 2 типу местности ("сырые места");

участки, сложенные грунтами III и IУ категорий, - к 3 типу местности ("места с постоянным и избыточным увлажнением").

3. Расчетные значения относительной влажности грунтов насыпи берутся по табл. I2 (вместо табл. I, приложения 2 ВСН 46-72).

Таблица I2

Расчетные значения относительной влажности грунтов насыпи

Дорожно-климатический район	Категория вечномерзлых грунтов местности (табл. 3)	Относительная влажность W/W_t		
		супеси легкие непылеватые	суглинки пылеватые, глины	супеси и суглинки пылеватые
I_1	I	0,75	0,80	0,85
	II	0,80	0,85	0,85
	III и IУ	0,85	0,90	0,90
I_2	I	0,70	0,75	0,80
	II	0,75	0,80	0,85
	III и IУ	0,80	0,85	0,90
I_3	I	0,70	0,70	0,75
	II	0,70	0,75	0,80
	III и IУ	0,75	0,80	0,85
I_4	I	0,70	0,75	0,80
	II	0,75	0,80	0,85
	III и IУ	0,80	0,85	0,90

Приведенные в табл. I2 показатели относятся к насыпям с высотой, равной или несколько выше оптимальной высоты. При высотах насыпей, превышающих оптимальную в 2 и более раз , отно-

сительная влажность по табл. I2 принимается, как для грунтов I категории.

4. Расчетные значения E, φ и c для грунтов насыпи берутся по табл. I3 в зависимости от значения $W/W_т$, взятого из табл. I2.

Таблица I3

Расчетные значения прочностных и деформационных характеристик для грунтов насыпей

Грунт	Характеристика грунта	Относительная влажность				
		0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
Песок:						
крупный и гравелистый	E	I300	I300	I300	I300	I300
	φ	43	43	43	43	43
средней крупности	E	I200	I200	I200	I200	I200
	φ	40	40	40	40	40
мелкий	E	I000	I000	I000	I000	I000
	φ	38	38	38	38	38
пылеватый	E	500	500	500	500	500
	φ	36	36	36	36	36
Супесь:						
легкая крупная	E	600	600	600	600	600
	φ	40	40	40	40	40
легкая (непылеватая)	E	390	370	350	-	-
	φ	34	34	33	-	-
	c	0,I0	0,09	0,08	-	-
Супесь пылеватая, суглинки и глины	E	340	280	240	2I0	200
	φ	I8	I5	I3	II	I0
	c	0,I9	0,I5	0,I0	0,07	0,05

Примечание. E - модуль упругости грунта, кгс/см^2; φ - угол внутреннего трения грунта; c - сцепление грунта, кгс/см^2.

Данные заимствованы из табл. 4 Приложений 2 ВСН 46-72.

Для оттаявших мерзлых грунтов в основании насыпи или на дне выемки (слой 4 на рис.37) значения модуля упругости грунтов принимаются по данным, приведенным ниже, а значения φ и c - по табл. 4.

Расчетные значения модулей упругости оттаявших мерзлых грунтов (для торфа приведены значения модуля деформации):

Грунт	Модуль упругости E, кгс/см^2
Песок:	
гравелистый	II50
крупный	I000
средний	850
мелкий	650
пылеватый	300
Супесь:	
легкая	350
пылеватая	200
Суглинок:	
тяжелый	250
пылеватый	I50
Торф:	
пушицевый	40[x/]
моховой	25[x/]

Расчетные значения модуля упругости мерзлого слоя грунтов (см. слой 5 на рис. 37) и коэффициента Пуассона мерзлых грунтов принимаются по табл. I4.

Таблица I4

Модуль упругости и коэффициент Пуассона мерзлых грунтов

Грунт	Модуль упругости, E кгс/см^2	Коэффициент Пуассона
Песок	2,5.I0^4	0,4I
Пылеватый грунт	I,5.I0^4	0,35
Глинистый грунт	5.I0^3	0,45

Жесткие покрытия автомобильных дорог рассчитываются с учетом влияния мерзлых оттаявших и вечномерзлых грунтов, входящих в активную зону основания.

Расчет ведется по одной из трех принципиальных схем (рис. 39). Первая схема применяется в тех случаях, когда ВГМ (верхняя граница мерзлых грунтов) находится на уровне подошвы насыпи, т.е. оптимальная высота насыпи рассчитывается по формуле (37). Вторая схема используется при допущении оттаивания мерз-

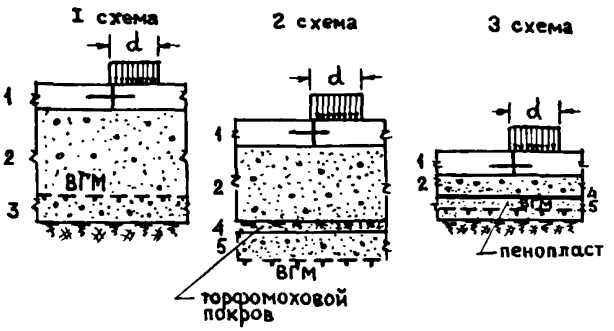


Рис. 39. Схемы для расчета жестких покрытий: I - бетонное покрытие; 2 - материал насыпи в талом состоянии; 3 - то же в мерзлом; 4 - слой теплоизоляции; 5 - грунт основания насыпи в талом состоянии

лых грунтов в основании насыпи, т.е. оптимальная высота насыпи рассчитывается по формуле (36). Третья схема служит для расчетов при применении в насыпи эффективного слоя теплоизоляции из пенопласта (см. § I5)[x/]. Расчетным местом воздействия транспортной нагрузки является поперечный край плит у температурных швов со стыковыми соединениями (рис. 39).

При расчете по первой схеме принимается упругая работа покрытия и основания, и расчет ведется по модулям упругости (E) слоев насыпи. При расчете по второй и третьей схемам принимается упругопластическая работа покрытия и основания (из-за остаточных деформаций грунтов при оттаивании и пенопластов при разгружении). В этих случаях расчет ведется по модулям деформации (E_o) слоев насыпи и ее основания.

---

x/ Методика расчета жестких покрытий при наличии вечномерзлых грунтов разработана канд. техн. наук Г.Я.Ключниковым (Ленаэропроект).

Величина общего (эквивалентного) модуля упругости или модуля деформации рассчитывается по следующим формулам.

Для первой схемы:

$$E = E_2 k_{мг}, \qquad (42)$$

где E_2 - модуль упругости слоя 2 насыпи на рис.39в, кгс/см^2;

$k_{мг}$ - коэффициент влияния мерзлого грунта в основании насыпи, получаемый по графику на рис. 40 в зависимости от отношения $\frac{h_2}{D}$ и значения E_2. Здесь h_2 - толщина слоя 2, см; D - условный диаметр площади воздействия нагрузки на основание, вычисляемый по формуле

$$D = 1{,}43\, h \sqrt[3]{E_б / E_2},$$

где $E_б$ - модуль упругости бетона при расчете по первой схеме и модуль деформации бетона при расчете по второй и третьей схемам, кгс/см^2;

h - толщина покрытия, см.

Для второй схемы:

$$E_o = E_2 k_{тг} k_e k_{мг}, \qquad (43)$$

где E_2 - модуль деформации слоя насыпи (слой 2 на рис.39б), кгс/см^2;

$k_{тг}$ - коэффициент влияния талого грунта в основании насыпи, получаемый по графику на рис. 41 в зависимости от отношений $\frac{h_2}{D}$ и $\frac{h_4 + h_5}{h_2}$, здесь h_2, h_4 и h_5 — толщина слоев на рис. 39б, см; $D = 1{,}43\, h \sqrt[3]{E_б / E_2}$;

k_e - коэффициент, учитывающий соотношение модулей деформации грунта насыпи и оттаявшего ее основания. Получается по графику на рис. 42 в зависимости от отношений h_2 / D и $E_2 / E_и$. Величина модуля деформации $E_и$ вычисляется по формуле

$$E_и = \frac{E_4 h_4 + E_5 h_5}{h_4 + h_5}, \qquad (44)$$

Здесь E_4 и E_5 - модули деформации слоев 4 и 5 на рис.39б.

Для третьей схемы

$$E_o = E_2 k_{из} k_e k_{мг}, \qquad (45)$$

где E_2 - модуль деформации слоя 2 насыпи на рис.39в, кгс/см^2;

$k_{из}$ - коэффициент влияния слоя теплоизоляции в конструкции насыпи, получаемый по графику на рис. 43 в зависимо-

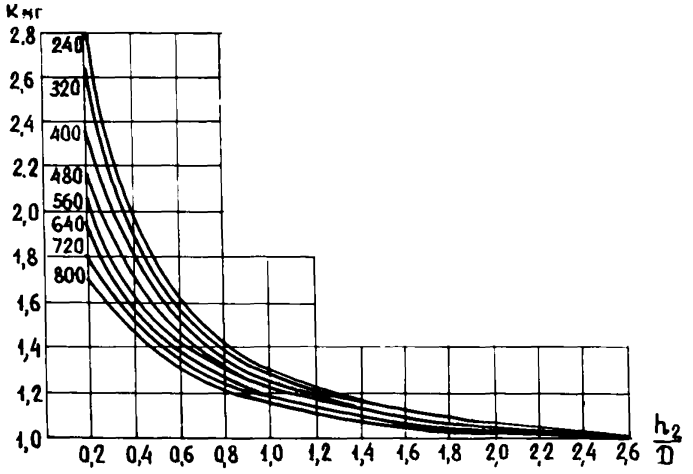


Рис. 40. Значения коэффициента влияния вечномерзлого грунта в основании насыпи $K_{нг}$ (Цифры на кривых соответствуют значению E_2, кгс/см^2)

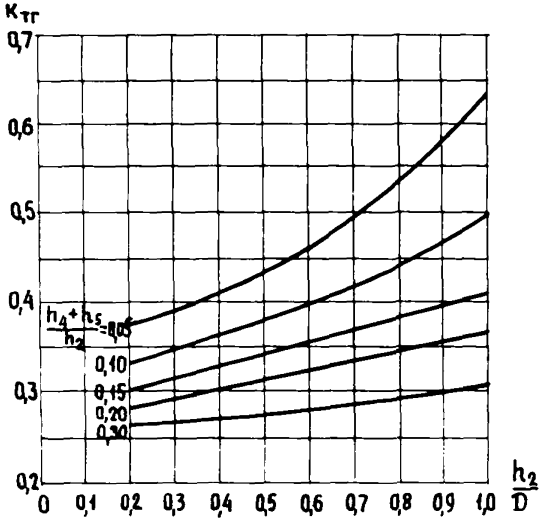


Рис. 41. Значения коэффициента $K_{тг}$ влияния талого грунта в основании насыпи

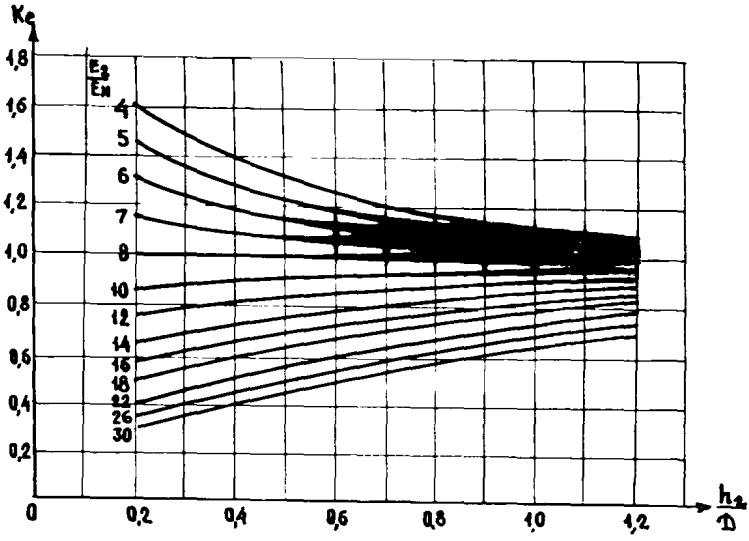


Рис. 42.Значения коэффициента K_e, учитывающего соотношение модулей деформации грунта насыпи и оттаявшего ее основания

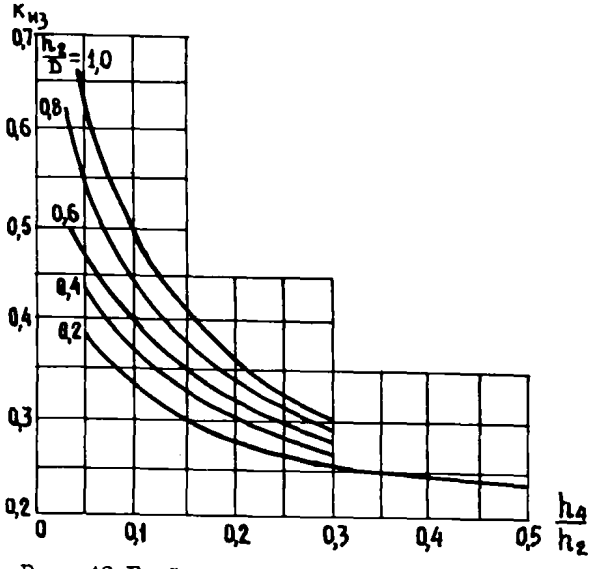


Рис. 43 График значений $K_{из}$ – влияние слоя теплоизоляции в конструкции насыпи

сти от отношений $\frac{h_4}{h_2}$ и $\frac{h_2}{D}$ здесь h_2 и h_4 - толщина слоев на рис. 39в, см; $D = 1{,}43\,h\sqrt[3]{E_б / E_2}$ ($E_б$ - модуль деформации бетона, кгс/см^2; h - толщина покрытия, см);

K_e - тот же коэффициент, что и во второй схеме, получается аналогичным способом.

Коэффициент $K_{мг}$, входящий в формулы (43) и (45) тот же, что и в первой схеме, и получается аналогичным способом по графику на рис. 40.

Модули упругости слоев насыпи определяются так же, как и при расчете нежестких дорожных одежд, т.е. по табл. 12 и 13. Для грунтов оттаявшего основания насыпи или дна выемки модули упругости берутся по данным, приведенным на с.86 . Модули упругости слоя эффективной теплоизоляции (пенопласта) принимаются по СНиП I-В.15-69"Материалы и изделия на основе полимеров".

Модули деформации при данных расчетах можно принимать по значениям модуля упругости, применяя формулу

$$E_o = 0{,}5\,E\,, \qquad (46)$$

где E - модуль упругости слоя;

E_o - модуль деформации слоя.

Модули упругости и деформации бетона принимаются по табл. 15[x/].

Таблица 15

Модули упругости и деформации бетона

Показатели	Марка бетона				
	250/35	300/40	350/45	400/50	500/55
Прочность на растяжение при изгибе $R_{р.и.}$ кгс/см^2	35	40	45	50	55
Модуль упругости E_o кгс/см^2	29.10^4	$31{,}5.10^4$	33.10^4	35.10^4	38.10^4
Модуль деформации E_o кгс/см^2	23.10^4	25.10^4	$26{,}5.10^4$	28.10^4	$30{,}5.10^4$

Величиной h (толщина покрытия, см) предварительно задаются; производят все вычисления для получения значений E или E_o по

x/ Марки бетона по ГОСТ 8424-72.

формулам (42), (43) или (45) в зависимости от схемы расчета (рис. 39), а затем делают проверку принятой величины по формуле

$$h = 0{,}374\, k_{\delta}\, \beta\, \frac{k_{д} P}{\omega}\,, \qquad (47)$$

где h - толщина покрытия, см;

k_{δ} - коэффициент, учитывающий модуль упругости (или модуль деформации) бетона. Берется по графику б на рис.44;

β - коэффициент, учитывающий жесткость слоистого основания, $см^2/кг$. Принимается по графику на рис.44а в зависимости от значения E, полученного по формуле (42), или от значения E_o, вычисленного по формулам (43) или (45);

$k_{д}$ - коэффициент динамичности воздействия нагрузки (для автомобилей типа ГАЗ и ЗИЛ $k_{д} = 1{,}2$);

P - величина нагрузки, приходящаяся на заднюю опору автомобиля, кг;

ω - допустимый прогиб покрытия, см. Вычисляется по формуле

$$\omega = 0{,}428\, \gamma \sigma h. \qquad (48)$$

Здесь γ - коэффициент($см^2/кг$), получаемый по графику на рис.45, в зависимости от отношения $\frac{E\delta}{E}$ (или $\frac{E\delta}{E_o}$) и отношения $\frac{h}{r}$; здесь E и E_o - соответственно вычисленные модули упругости или деформации (эквивалентные); E_{δ} - модуль упругости(или деформации)бетона, $кгс/см^2$, по табл. 15; h - принятая толщина покрытия; r - радиус следа колеса автомашины[x], см;

σ - допускаемое напряжение в бетоне ($кгс/см^2$). Определяется по формуле

$$\sigma = 0{,}6\, m_{o}\, R_{р.и.}\,, \qquad (49)$$

где $R_{р.и.}$ - нормативная прочность бетона на растяжение при изгибе, $кгс/см^2$. Принимается по табл. 15;

0,6 - обобщенный коэффициент однородности прочности, устойчивости при многократном воздействии нагрузки и нарастания прочности во времени для бетона;

---

[x] Величина r принимается как половина диаметра D следа колеса. Расчетные значения D даются в "Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа в приложении I ВСН 46-72.

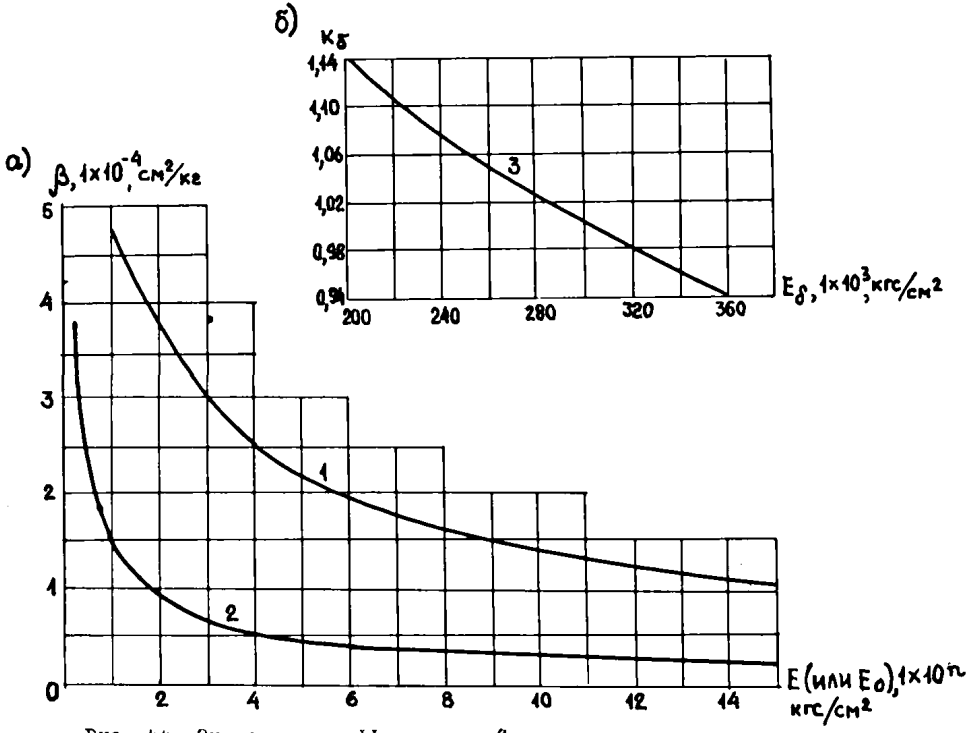


Рис. 44. Значения коэффициента β для расчета толщины жесткого покрытия: а – график значений $K\delta$; б – график поправочного коэффициента β; 1 – E или E_0 в пределах $(1 \div 15)10^2$ кгс/см^2; $E_\delta = 3.10^5$ кгс/см^2; 2 – E или E_0 в пределах $(2 \div 15)10^3$ кгс/см^2; $E_\delta = 3.10^5$ кгс/см^2

m_o - коэффициент условий работы покрытия в комплексе с основанием. Принимается по табл. I6 как средневзвешенный при неоднородности слоев основания под покрытием.

Таблица I6

Коэффициент условий работы покрытия m_o

Дорожный материал и грунты, подстилающие покрытие	Значения коэффициента m_o	
	при расчете по схеме I	при расчете по схеме 2 или 3
Щебень, гравий, песок	I,00	I,20
Песок мелкий	0,97	I,I6
Супесь	0,95	I,I4
Суглинок, глина	0,90	I,08
Пылеватые грунты	0,85	I,02
Торф	0,75	0,80

Пример I8. Рассчитать толщину бетонного покрытия автомобильной дороги для условий примера I3 (см. § II). Дорога строится в районе Салехарда. Грунт основания насыпи - суглинок средний с влажностью 35%. Насыпь из карьерного материала - песок средней крупности. Бетонное покрытие укладывается непосредственно на насыпь. Мохорастительный покров при строительстве не сохраняется. Нагрузка на заднюю ось автомобиля $P = I.I0^4$ кгс, радиус отпечатка одной опоры оси автомобиля $\tau = I8$ см, бетон марки 350/45.

В примере I3 была определена оптимальная высота насыпи для этого случая. При этом получилось: высота насыпи равна 2,23 м и глубина оттаивания основания (см. рис. 37)

$$\frac{S}{\delta} = \frac{0,0I}{0,09} = 0,II \text{ м.}$$

Расчет ведем по схеме 2 (см.рис. 39). Толщина слоев насыпи и основания: $h_2 = 223$ см, $h_4 = 0$, $h_5 = II$ см. Определяем модули деформации слоев и бетона:

слоя насыпи - по табл. I3 и формуле (46):

$$E_2 = I200.0,5 = 600 \text{ кгс/см}^2,$$

слоя, оттаявшего в основании насыпи грунта - по формуле (46), расчетные значения E(см. на с.86)

$$E_5 = 150.0{,}5 = 75 \text{ кгс/см}^2,$$

бетона - по табл. 15

$$E_б = 265.10^3, \text{ кгс/см}^2.$$

Задаемся предварительно толщиной покрытия, приняв $h = 25$ см. Находим коэффициенты, входящие в формулу (43). По графику на рис. 41:

$$D = 1{,}43\,h\sqrt[3]{\frac{E_б}{E_2}} = 1{,}43 \cdot 25\sqrt[3]{\frac{265000}{600}} = 272 \text{ см};$$

$$\frac{h_2}{D} = \frac{223}{272} = 0{,}82;$$

$$\frac{h_4 + h_5}{h_2} = \frac{0 + 11}{223} = 0{,}05.$$

По этим данным на рис. 41 находим $K_{тг} = 0{,}54$.

По графику на рис. 42 и формуле (44):

$$\frac{h_2}{D} = 0{,}82, \quad E_и = \frac{0 + 75 \cdot 11}{0 + 11} = 75 \text{ кгс/см}^2, \quad \frac{E_2}{E_и} = \frac{60}{7{,}5} = 8.$$

Исходя из этих данных по графику рис. 42 находим $K_e = 1{,}0$.

По графику на рис. 40 при $\frac{h_2}{D} = 0{,}82$ и $E_2 = 600$ кгс/см^2 получаем $K_{мг} = 1{,}28$.

По формуле (43) вычисляем общий модуль деформации:

$$E_o = 600.0{,}54.1{,}0.1{,}28 = 414 \text{ кгс/см}^2.$$

Определяем допустимый прогиб w по формуле (48). Для этого по графику на рис. 45 при

$$\frac{h}{r} = \frac{25}{18} = 1{,}39 \text{ и } \frac{E_б}{E_o} = \frac{265000}{414} = 640$$

находим коэффициент $\gamma = 1{,}40.10^{-4}$ см^2/кг.

Средневзвешенный коэффициент m_o по табл. 16 (под покрытием песок слоем 223 см и суглинок в талом состоянии, толщиной слоя 11 см) равен

$$m_o = \frac{223.1{,}20 + 11.1{,}08}{223 + 11} = 1{,}19$$

Допустимое напряжение в бетоне при $R_{р.и.} = 45$ кгс/см^2 (табл. 15) по формуле (49) равно

$$\sigma = 0{,}6.1{,}19.45 = 32 \text{ кгс/см}^2.$$

Исходя из полученных данных, допустимый прогиб покрытия по формуле (48):

$$\omega = 0{,}428.1{,}40.10^{-4}.32.25 = 0{,}048 \text{ см}$$

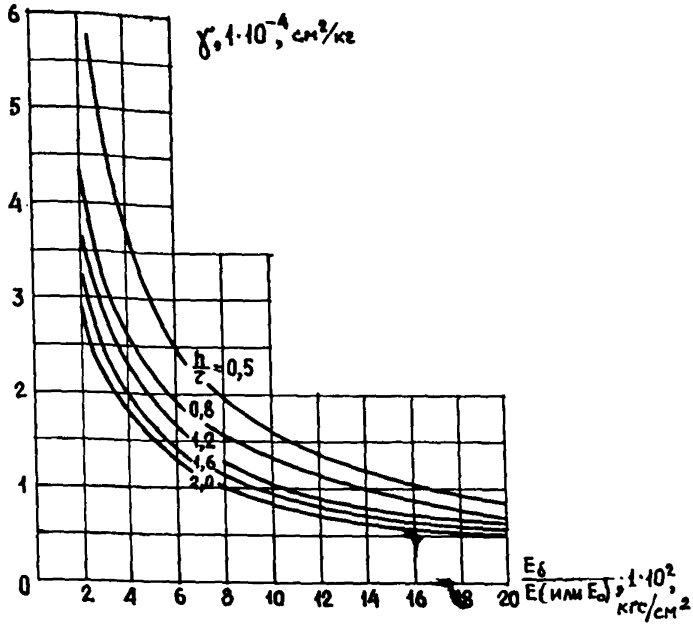


Рис. 45. Значения коэффициента γ, учитывающего жесткость и напряженность конструкции

Проверяем принятую толщину покрытия по формуле (47). Так как общий модуль деформации $E_o = 414$ кгс/см^2, то следует пользоваться кривой I на рис. 44, по которой находим коэффициент $\beta = 2{,}45.10^{-4}$ см^2/кг. По кривой на рис. 45 получаем коэффициент $\kappa_\delta = 1{,}04$ (при модуле деформации бетона $E_\delta = 26{,}5.10^4$).

$$h = 0{,}374.1{,}04.2{,}45.10^{-4}\,\frac{1{,}2.1.10^4}{0{,}048} = 24 \text{ см}.$$

Расхождение с принятой величиной (25 см) составляет 4%, что вполне допустимо.

Подобным же образом производится расчет дорожных покрытий в выемках, на городских улицах, площадях и проездах.

ГЛАВА 3

ГОРОДСКИЕ АЭРОДРОМЫ И ВЕРТОДРОМЫ

Среди новых воздушных судов, которые будут введены в эксплуатацию в конце 80-х - начале 90-х годов, появятся самолеты с коротким взлетом и посадкой (СКВП), которые можно эксплуатировать на взлетно-посадочной полосе длиной 500-600 м[x/]; самолеты вертикального взлета и посадки (СВВП) с подъемными вентиляторами, что позволяет производить набор высоты и снижаться по вертикальной линии и усовершенствованные вертолеты с низким уровнем вибрации и большой крейсерской скоростью. Все эти летательные аппараты будут всепогодными с малым уровнем шума, не превышающим уровня шума от оживленных городских магистралей, и предназначены для коротких воздушных перевозок с аэродромов, располагаемых в черте городской застройки.

Использование таких воздушных судов в городских и пригородных пассажирских перевозках Крайнего Севера позволит решить сразу три, до сего времени неразрешенные задачи:

1) жители малых поселений смогут пользоваться культурно-бытовым обслуживанием крупных городских центров;

2) можно будет ликвидировать не оправдывающие себя вахтенные поселки и

3) защитить при передвижениях человека от дискомфортной окружающей среды (см. с.61).

Поскольку в осуществляемых и создаваемых вновь проектах новых поселений Крайнего Севера авиация, как городской и пригородный транспорт,пока не предусматривается, территории, пригодные для городских аэропортов и вертопортов,застраиваются, и

---

x/ Первая воздушная линия с использованием СКВП открыта в 1974 г. в Канаде между Монреалем и Оттавой. Длина линии 160 км. Она обслуживается самолетами DHC-7 (фирма Де Хавиленд), перевозящими 50 пассажиров и работающими на полосе 610 м. Аэропорты находятся в черте городской застройки.

воздушные подходы к ним не обеспечиваются. Такие города и поселки и после появления новых самолетов и вертолетов останутся со своими неразрешенными задачами.

В настоящей главе рассматриваются не только особенности конструкций и расчета аэродромных сооружений на вечномерзлых грунтах, но и даются основные параметры для резервирования участков под аэропорты и вертопорты.

§ I4. Аэропорты и вертопорты в городской черте

По существующим в настоящее время правилам $\frac{\text{НТП I-74}}{\text{МГА}}$ *) аэродромы размещают за границами города, соблюдая разрывы от границ селитебной территории (ГСТ). Наименьшее расстояние от взлетно-посадочной полосы (ВПП) принимается по табл. I7.

Таблица I7

Расстояние (км) от взлетно-посадочной полосы аэродрома (ВПП) до границ селитебной территории (ГСТ)

Направление ВПП	Трасса полетов	Класс аэродрома					
		А	Б	В	Г	Д	Е
I. Не пересекает ГСТ	Не пересекает ГСТ	6	6	6	5	2	I
2. Пересекает ГСТ	Пересекает ГСТ	30	30	20	I0	5	5
3. Пересекает ГСТ	Не пересекает ГСТ	I7	I5	I5	-	-	-

Примечание. Для случая 3, когда направление ВПП аэродромов классов Г,Д и Е пересекает ГСТ, минимальное расстояние от ВПП до ГСТ не приведено, так как трасса полетов в этом случае, как правило, пересекает ГСТ.

---

*/ Нормы технологического проектирования аэропортов. $\frac{\text{НТП I-74}}{\text{МГА}}$.

При совмещении аэродрома местных воздушных линий с аэродромом магистральных линий (что чаще всего и делается) пассажир, летящий на короткое расстояние, скажем на 150–200 км на СКВП, затратит на полет 15 мин, но добираться до аэропорта ему придется более часа, совершив на автобусе поездку, довольно неприятную в зимнее время, на расстояние 20–30 км. В условиях Крайнего Севера, учитывая принцип защиты человека от дискомфортной внешней среды, доступность аэропорта местных авиалиний становится решающим фактором. Надо создавать города и поселки такими, чтобы воздушный транспорт был в пешеходной доступности, выполняя функции городского и пригородного транспорта при доставке людей к местам приложения труда – к буровым, карьерам, рудникам и т.п.

Для малых населенных пунктов аэродром, обслуживаемый самолетами СКВП, вполне возможно располагать в непосредственной близости с границей городской застройки, как показано на рис. 46. Для крупных, по масштабам Крайнего Севера, городов с населением более 30 тыс. человек надо пытаться вписать аэродром в черту городской застройки, что, конечно, далеко не просто сделать и требуется большое архитектурно-планировочное мастерство. Например, для городов, расположенных у больших акваторий (а большинство северных городов располагается на берегу крупных рек или на морских побережьях), рационально расположение городского аэропорта по схеме, представленной на рис. 47 и заимствованной из проекта городского аэропорта для Нью-Йорка.

Аэропорт запроектирован относительно больших размеров, так как должен обеспечить уплотненный график воздушного движения большого города. Он требует территории в 12 га, в то время как обычные аэропорты класса А и Б занимают площадь 250–300 га. В аэровокзале предусматривается восемь посадочно-разгрузочных пассажирских проходов, каждый шириной по 35 м, что обеспечивает быструю высадку и посадку пассажиров и позволяет обслуживать 150 рейсов в день. Пути прибытия и отправления самолетов разъединены свободным пространством шириной 120–150 м. Рулежные дорожки, идущие по периметру летного поля, показаны на рис. 47 пунктиром. Летное поле частично выдвинуто в акваторию, для чего понадобится устройство пирса или отсыпка земляной насыпи. При такой планировке взлет и посадка СКВП может производиться при ветре различных румбов, варьируемых по крайней ме-

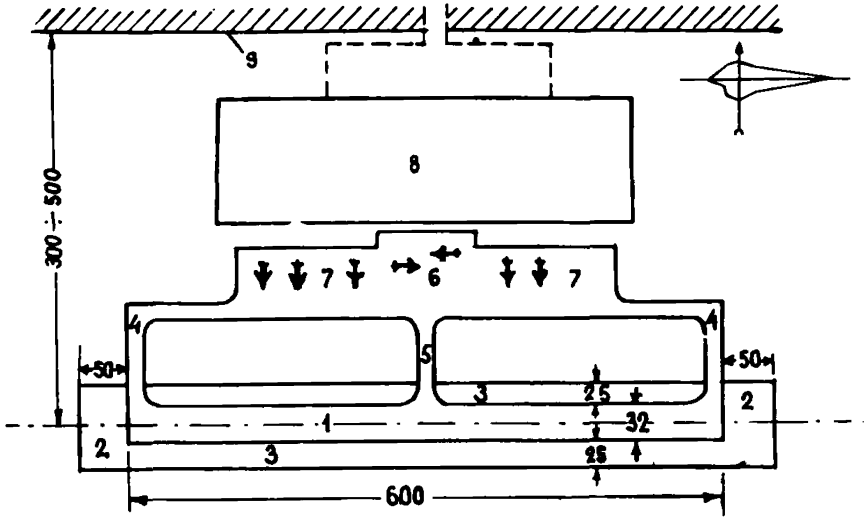


Рис. 46. Схема генерального плана аэропорта местных воздушных линий, обслуживаемых самолетами СКВП: I - взлетно-посадочная полоса (ВПП); 2 - концевая полоса безопасности (КПБ); 3 - боковая полоса безопасности (БПБ); 4 - магистральная РД (рулежная дорожка); 5 - соединительная РД; 6 - перрон; 7 - место стоянки самолетов (МС); 8 - служебно-техническая зона; 9 - граница застройки города;
(размеры даны в метрах)

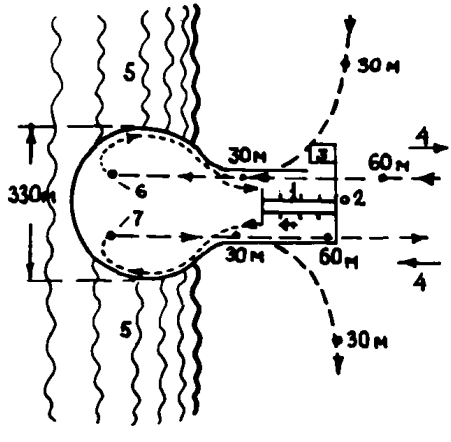


Рис. 47. Аэропорт для СКВП в черте города на берегу большой реки или озера: I - аэровокзал; 2 - контрольно-диспетчерская вышка (КДП); 3 - ангар; 4 - направление ветра; 5 - акватория; 6 - остановка после пробега; 7 - старт

ре в диапазоне 180^0. Полосы, выделенные для взлета и посадки самолетов, удалены от пассажирского здания и мест посадки и высадки пассажиров на 180–210 м, так что уровень шума от самолетов не будет превышать допустимого.

Пунктирные прямые на рис. 47 показывают пути прибывающих и отправляемых самолетов, черные кружки на этих линиях и цифры при них указывают высоту самолета в данных точках по отношению к отметке взлетно-посадочной площадки. Прямые направления прибытия и отправки самолетов имеют тот недостаток, что самолет пролетает близко от мест посадки и высадки пассажиров. Кроме того, при таких направлениях траектории полета должны быть сравнительно крутыми, так как вдоль берега имеется застройка высотными зданиями.

Другой вариант прибытия и отправки самолетов показан на рис. 47 по кривым направлениям. При посадке пилот ведет самолет на снижение по приборам при сильном боковом ветре до тех пор, пока самолет не окажется на высоте 30 м от земли. Здесь пилот делает разворот, выдерживая высоту, пока не выйдет на курс прямо против ветра, после чего идет на снижение и посадку. При взлете совершается подобная процедура. Эти пути будут держать самолет дальше от аэровокзала, а также не будет необходимости летать над городскими районами с высокой застройкой.

Длина взлетно-посадочной полосы (ВПП) для СКВП около 600 м; концевую полосу безопасности (КПБ) и боковую полосу безопасности (БПБ) можно соответственно принять 50 и 25 м[x/]. Таким образом, для аэродромной летной полосы потребуется на генеральных планах городов резервировать площадь в виде прямоугольника длиной 700 м и шириной 82 м. Для всего же аэропорта, включая перрон, места стоянок самолетов (МС) и территорию служебно-технической застройки (см. рис. 46), необходима площадь около 25 га.

Угол набора высоты у самолетов СКВП в 2–2,5 раза больше, чем у обычных самолетов, при одинаковом взлетном весе. Поэтому ограничение высоты застройки в полосе воздушных подходов (ПВП) значительно менее жесткое, чем при самолетах обычного типа (рис. 48).

Пассажирские перевозки в пригородном сообщении вертолетами широко применяются на Крайнем Севере. Тем более странной пред-

---

x/ Для обычных самолетов КПБ = 400 м и БКБ = 100–75 м.

ставляется сложившаяся практика составления генеральных планов северных поселений, при которой вертодромы упорно исключаются из городской территории. По действующим ныне правилам устраивать вертодромы и посадочные площадки для вертолетов в городах разрешается, но со следующей оговоркой: не располагать их "в

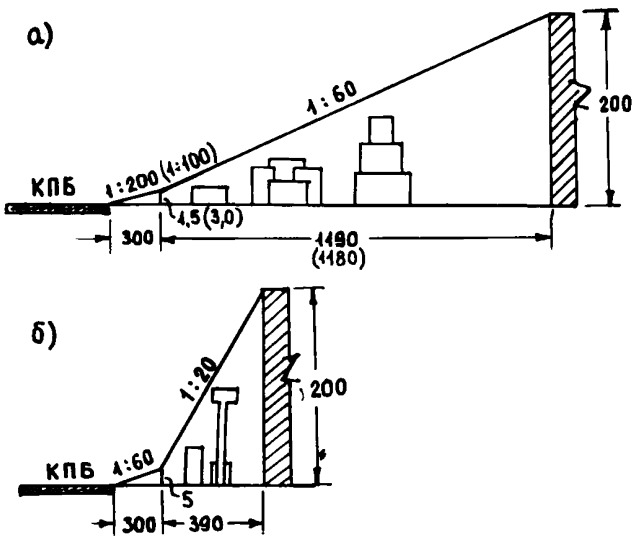


Рис. 48. Длина участков и углы наклонов плоскостей, ограничивающих высоты застройки в полосе воздушных подходов (ПВП); а - при эксплуатации обычных самолетов; б - для самолетов СКВП

непосредственной близости от жилых кварталов и не мешать перспективному развитию населенного пункта"[x/]. Последняя оговорка для условий Крайнего Севера звучит просто курьезно: казалось бы, наоборот, - не авиация не должна мешать застройке, а застройка не должна мешать развитию авиации, как единственному средству, дающему возможность осваивать новые районы и проживать в них.

---

x/ Руководство по проектированию вертодромов и посадочных площадок для вертолетов гражданской авиации. М., МГА "Аэропроект", 1970, §9.

Земельные участки, потребные для вертодромов, зависят от расчетного типа вертолета и определяются по табл.I8. В качестве вертодромов на городской территории будем рассматривать только вертодромы и посадочные площадки для тяжелых и средних вертолетов, основные летно-технические характеристики которых приведены в табл.I9. Не стоит рассматривать также базовые вертодромы, так как располагать их на городской территории не рационально. Такие вертодромы организуются за пределами городской застройки или совмещаются с аэропортами, как это показано на рис. 49.

Таблица I8

Площади земельных участков для вертодромов

Весовая категория и тип вертолета	Площади земельных участков, га		
	промежуточного	конечного	базового
Тяжелые (Ми-6)	2,5	4,0	25
Средние (Ми-4, Ми-8)	I,5	2,5	I2
Легкие (Ми-I, Ми-2, Ка-I8, Ка-26)	I,0	I,5	6

Вертодромы (и посадочные площадки для вертолетов) наносятся на генеральный план города с помощью данных, указанных на рис. 50 и приведенных в табл. 20. На рис. 50 приведены генеральный план вертодрома и схемы размеров воздушных подходов, обеспечивающих набор высоты и разворот при взлете, а также заход на посадку и снижение вертолета. По возможности летную полосу вертодрома следует назначать не по размерам прямоугольника,как показано на рис. 50, а проектировать в виде круга или квадрата с диаметром и стороной, отвечающим большему размеру (табл. 20).

В городах вертодромы желательно располагать на крышах высоких зданий, где располагается поле вертодрома, а пассажирские, служебные и подсобные помещения переносятся в технический этаж здания. При наличии на выбранной площадке вечномерз-

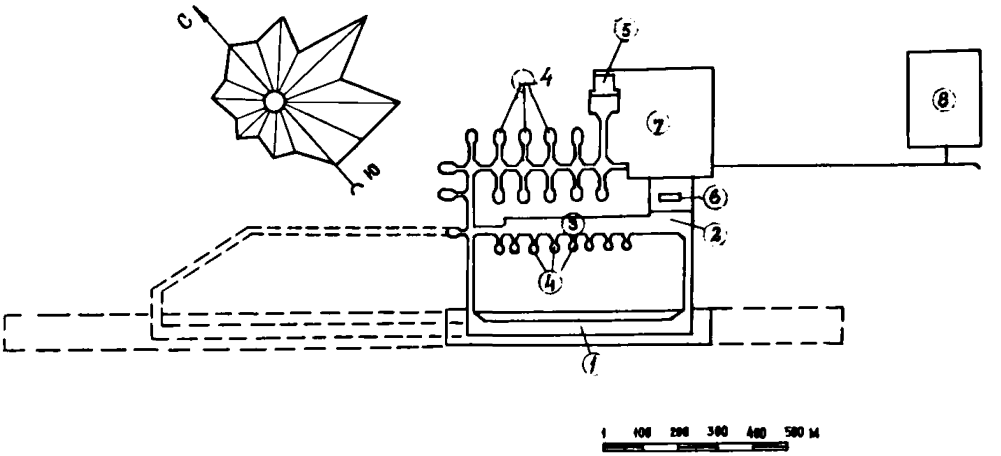


Рис. 49. Аэропорт IУ класса, совмещенный с вертопортом I класса: I - взлетно-посадочная полоса (ВПП); 2 - перрон; 3 - место стоянки для самолетов (МС); 4 - место стоянки для вертолетов; 5 - ангар; 6 - служебно-техническое здание; 7 - служебно-техническая территория; 8 - склад ГСМ

лых грунтов Ш и IУ категорий (см. табл. 3) вертодром следует сооружать на приподнятой над поверхностью земли платформе, устраиваемой на сваях.

Таблица I9

Основные летно-технические характеристики вертолетов

Характеристика	Единица измерения	Тип вертолета			
		Ми-4	Ми-8	Ми-6	Ми-IОк
Максимальный взлетный вес	кг	7500	I2000	42500	38000
Давление в пневматиках колес:					
основных	кгс/см^2	4,0	5,5	7,0	6,0
носовых	"	4,0	4,5	6,0	4,5
Часовой расход топлива на крейсерской скорости (Н = 500 м)	кг/ч	225	500	2400	2300
Крейсерская скорость (Н = 500 м)	км/ч	I40	2I0-225	230-250	200
Число пассажирских мест	место	6-7	28	-	-
Размер грузового люка	м	I,85x xI,55	I,82x x2,34	2,66x x2,52	I,54x xI,25
Максимальный вес перевозимого груза:					
внутри фюзеляжа	кг	I500	4000	I2000	3000
на подвеске	"	I300	3000	8000	II000
Допустимая скорость ветра:					
встречного	м/с	I8	20	25	-
бокового	"	5	I0	I0	-

Примечание. Для пассажирских перевозок рационально также использовать вертолет Ка-26, который перевозит 6-7 пассажиров со скоростью I20-I30 км/ч, требуя всего I00 кг горючего на час полета, а также вертолет Ми-2, перевозящий 6-8 пассажиров и требующий 220-250 кг горючего на час полета, но зато обладающий скоростью I80 км/ч. Оба эти вертолета могут эксплуатироваться с любого вертодрома, рассчитанного на средние вертолеты.

Таблица 20

Размеры элементов вертодромов, посадочных площадок для вертолетов и полосы воздушных подходов

Показатели	Тип вертолета		
	Ми-6, Ми-10к	Ми-8	Ми-4
Минимальные размеры летных полос, при взлете и посадке, м:			
по-самолетному или с коротким пробегом-разбегом	250x100 (200x50) x/	180x60 (150x30)	150x60 (120x30)
по-вертолетному с использованием влияния "воздушной подушки"	200x100 (150x50)	120x60 (90x30)	120x60 (90x30)
по-вертолетному без использования влияния "воздушной подушки"	100x100 (50x50)	60x60 (60x30)	60x60 (30x30)
Минимальные размеры ВПП при взлете и посадке:			
по-самолетному или с коротким пробегом-разбегом	200x50	120x30	90x30
по-вертолетному x/	50x50	30x30	30x30
Минимальные размеры рабочей площади временных вертодромов и посадочных площадок при взлете и посадке:			
по-самолетному или с коротким пробегом-разбегом	200x50	120x30	90x30
по-вертолетному xx/	30x30	10x10	10x10
Минимальные размеры концевых и боковых полос безопасности $\ell_з$, м	25	15	15
Высота ограничения препятствий в зоне воздушных подходов, h, м	150	150	150

x/ В скобках указаны размеры посадочных площадок для вертолетов.

xx/ Взлет с использованием влияния "воздушной подушки" выполняется при наличии подходов, указанных в п. а) таблицы; без использования влияния воздушной подушки - при подходах, отвечающих лишь условиям п. б)

Продолжение табл. 20

Минимальные размеры участков воздушных подходов и тангенсы углов наклона плоскости ограничения:			
а) по-самолетному и по-вертолетному с использованием влияния "воздушной подушки"			
l_1, м	I00	I00	I00
l_2, м	II60	II20	II60
$tg\vartheta_1$	I:20	I:I0	I:20
$tg\vartheta_2$	I:8	I:8	I:8
$tg\beta$	I:2	I:2	I:2
ширина раструба условной плоскости ограничения препятствий в конце участка,			
l_1, м	I50	I00	I00
l_2, м	700	660	660
б) по-вертолетному без использования влияния "воздушной подушки"			
l_1 м	300	300	300
$tg\vartheta_1$	I:2	I:2	I:2
$tg\beta$	I:I	I:I	I:I
Минимальные размеры посадочных площадок, расположенных на крыше здания и на приподнятых платформах, м	45x35	25x20	25x20

Ширина рулежных дорожек и минимальные радиусы поворотов принимаются по табл. 2I.

Таблица 2I

Ширина рулежных дорожек (В) и радиусы поворота (R)

Тип вертолета	В,м	R м
Ми-6, Ми-IOк	I5	28
Ми-4, Ми-8	8	I6

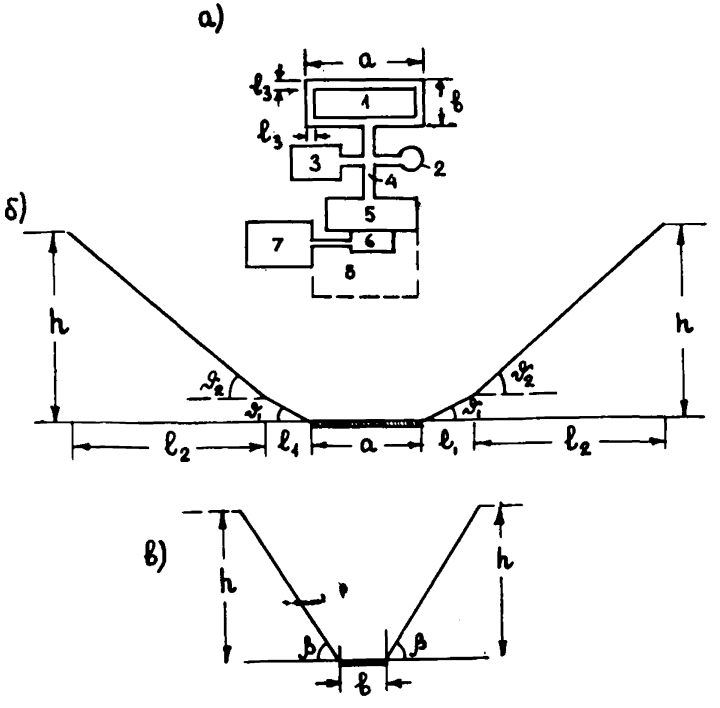


Рис. 50. Генеральный план вертодрома и схемы ограничения высоты застройки в районе вертодрома: а - генеральный план; б - схема размеров воздушных подходов в направлении старта; в - то же поперек старта; I - летная полоса с боковыми полосами безопасности; 2 - МС индивидуальная; 3 - МС групповая; 4 - рулевая дорожка (РД); 5 - перрон; 6 - пассажирский павильон; 7 - служебно-техническая территория; 8 - привокзальная площадь

Размер перрона и мест стоянок вертолетов рассчитывается по табл. 22 и 23[x/] и рис. 5I.

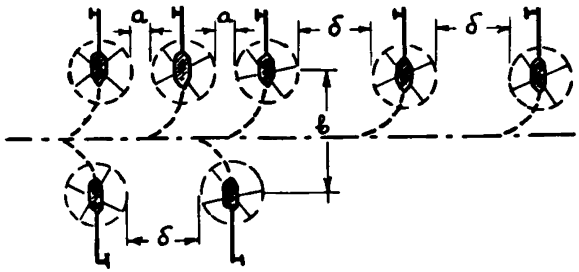


Рис. 5I. Расстояние между вертолетами на местах стоянок

Таблица 22

Размеры МС для одного вертолета

Тип вертолета	Размеры места стоянки, м	
	I тип	II тип
Ми-6, Ми-IOк	46x32	–
Ми-8, Ми-4	24xI8	22xI2

Примечание. I тип обеспечивает заруливание вертолета на тяге несущего винта или с помощью буксировки и разворот его вокруг основного колеса, II тип обеспечивает установку вертолета с разворотом в воздухе.

Вертодромы и посадочные площадки вертолетов могут устраиваться у берегов рек и озер на баржах, понтонах или на пирсах, сооружаемых на свайном основании. На берегу размещаются пассажирские и служебные помещения, МС вертолетов, ГСМ и другие объекты вертодрома.

Конструкции основания надводных и на приподнятых над землей площадок для ВПП (сваи, прогоны, балки) рассчитываются на

---

x/ Все данные, приведенные в табл. I8-23, взяты из "Руководства по проектированию вертодромов и посадочных площадок для вертолетов гражданской авиации". М., МГА "Аэропроект", I970.

Таблица 23

Расстояния между вертолетами на групповой МС,м

Расстояние между вертолетами (по рис. 51)	Тип вертолетов			
	Ми-6	Ми-10к	Ми-8	Ми-4
а	8	8	5	5
б	18	18	11	11
в	100	100	63	63

Примечание. При расстановке вертолетов на собственной тяге расстояние между концами лопастей их несущих винтов должно равняться радиусу несущего винта расчетного вертолета(б,табл.23)а при перемещении вертолетов буксировщиком-расстоянию а. Расстояние между двумя противоположными рядами вертолетов на групповой МС(по втулкам несущих винтов) должно равняться трем диаметрам несущего винта расчетного вертолета (в).

сосредоточенную нагрузку, равную двум максимальным взлетным весам расчетного вертолета.Настил (перекрытие) ВПП рассчитывается на концентрированную нагрузку,составляющую 75% максимального взлетного веса расчетного вертолета, действующего на площадь квадрата 30х30 см.

Введение в эксплуатацию самолетов вертикального взлета и посадки (СВВП) позволит полностью разрешить вопросы пассажирских перевозок для городов Крайнего Севера. Эти самолеты, как уже было отмечено, проектируются малошумными, с большой крейсерской скоростью (700-900 км/ч) и большой пассажировместимостью (до 80 пассажиров). Градостроительные проблемы сейчас не могут быть удовлетворительно разрешены для Крайнего Севера именно из-за неприспособленности традиционных систем городского и пригородного транспорта для быстрого и удобного обслуживания больших расстояний. Города же и поселки Крайнего Севера не являются самостоятельными формированиями, мыслимыми без постоянной, каждодневной связи с очагами производства (буровыми вышками, карьерами,рудниками и т.п.), разбросанными вокруг города-центра на десятки и сотни километров. Организация системы пассажирских перевозок на СВВП (система аэробусов) с аэробусными станциями в центральной части городов и с поса-

дочными площадками (постоянными и временными) позволит преодолевать расстояния в 200-300 км за 20-30 мин в самых комфортных условиях.

Несмотря на то, что СВВП требует на взлете и при посадке в 8 раз больше топлива, чем обычный самолет, при правильной организации перевозок, как доказывают зарубежные экономические исследования, можно достигнуть вполне приемлемых тарифов, не превышающих стоимости проезда в автобусах I класса.

Аэробусные станции для эксплуатации самолетов СВВП имеет смысл, конечно, организовывать только в центральной части города, а остановочные пункты аэробусов предусматривать во всех населенных местах, тяготеющих к данному городу, в том числе и при временных поселениях, а также при всех шахтах, рудниках, буровых вышках и пр. Регламентировать требования к аэробусным станциям пока еще затруднительно. Ограничения высоты застройки в полосе воздушных подходов, по существу, отпадают или, во всяком случае, не будут более жесткими, чем для вертодромов. Земельные участки также потребуются незначительные, не больше территории вертодромов, как это видно из приводимых ниже примеров[x/].

Центральная аэробусная станция, рассчитанная на 10 тыс. пассажиров в день, показана на рис. 52.Она представляет собой здание, крыша которого используется как ВПП. Для постройки ее требуется участок земли около 2 га. Подготовка к обратному рейсу, включая высадку и посадку пассажиров, погрузку багажа, заправку топливом и т.п., занимает максимум 10,5 мин при обслуживании всех операций четырьмя работниками.В среднем время, необходимое на остановку в местах посадок, следует принимать равным 5 мин из расчета полной загрузки пассажирами (примерно 80 человек). На каждой остановке нет необходимости выключать двигатели.

Малая аэробусная станция показана на рис. 53.Она может рассматриваться и как временная. Для постройки такой станции

---

x/ R.W.Simpson. Future Short Haul Air Transportation in the Northeast Corridor of the USA. – "Canadian Aeronautics and Space Journal", Vol. 12, N 9, 1966.

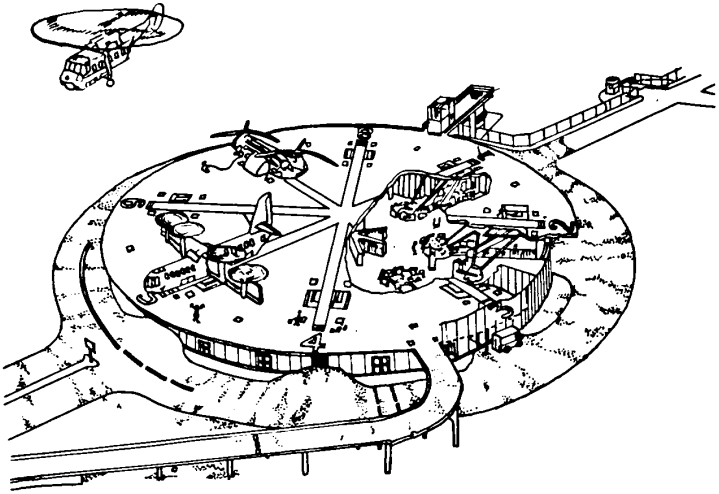


Рис. 52. Центральная городская аэробусная станция



Рис. 53. Малая станция для аэробусных сообщений

достаточно площади 0,8 га; оборудуется она бетонной ВПП размером 60х60 м, с оградой и небольшим пассажирским павильоном. Такая станция обслуживает 100 пассажиров в день. Эта станция, по существу, является передвижной и легко может переноситься с места на место, причем из всех капитальных затрат невозвратимыми будут лишь 6-7%. При организации такой станции основные средства затрачиваются на переносную аппаратуру для слепой посадки самолетов малогабаритных размеров и весящей всего 75 кг.

§ 15. Летное поле на вечномерзлых грунтах

Поверхность летного поля устраивается, как и в обычных условиях, с уклонами, обеспечивающими безопасность взлета, посадки и руления самолетов и вертолетов и беспрепятственный сток поверхностных вод. При этом вертикальная планировка территории аэродрома должна производиться на основании теплотехнических расчетов, как это делается и для городских территорий (см. § 3). Кроме того, все участки летного поля, отводимые под сооружение грунтовых полос (ГП), ВПП, РД, МС и перрона, осуществляются на насыпях (подсыпках), в основании которых грунт естественного залегания сохраняется в мерзлом состоянии или допускается незначительное его оттаивание (рис. 54)[x/]

Расчет **высоты подсыпок** под аэродромные сооружения ведется по оптимальной **высоте насыпи**, т.е. по формуле (36), а замена грунта в местах срезок - по формуле (40). При этом величина относительного сжатия мерзлых грунтов основания при их оттаивании (δ) берется по графикам на рис. 5 и 7, а расчетная осадка насыпи (S) - по табл. 24.

---

x/ Согласно "Нормам технологического проектирования аэропортов" (НТП I-74) МГА для аэродромов на вечномерзлых грунтах при наличии взлетно-посадочной полосы с искусственным покрытием (ИВПП), разрешается грунтовые полосы не делать, а боковые полосы безопасности устраивать шириной 50 м для аэродромов классов А, Б и В и шириной 25 м - для аэродромов классов Г, Д и Е.

Таблица 24

Расчетные осадки насыпей аэродромных сооружений S, см

Вид сооружений и покрытий	Класс аэродрома	
	А,Б,В	Г,Д,Е
ВПП и РД с цементобетонным покрытием	0,5	0,5
МС с цементобетонным покрытием	0,5	I
ВПП и РД с асфальтобетонным покрытием	I	2
МС с асфальтобетонным покрытием	2	3
Грунтовые полосы (ГП)	8	I2

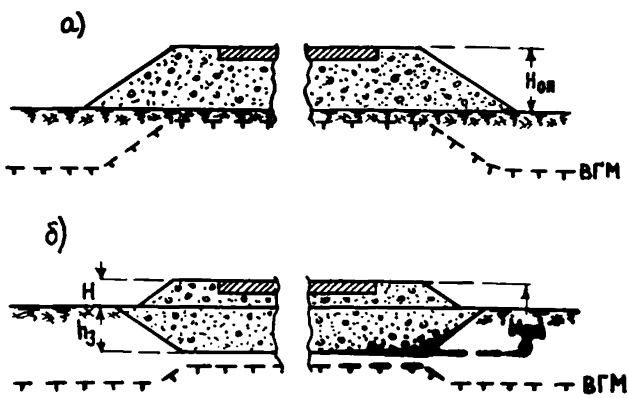


Рис. 54. Схема аэродромного сооружения на вечномерзлых грунтах: а - аэродромное сооружение в насыпи; б - замена грунта в основании аэродромного сооружения

Пример I9. Определить высоту насыпи взлетно-посадочной полосы аэродрома в Усть-Порте (на р.Енисей), сооружаемого по классу Д. Покрытие бетонное толщиной 0,3 м, укладываемое на слой песчаной подготовки толщиной I5 см. Насыпь отсы-

пается из гравийно-галечного грунта. В основании насыпи залегают глинистые грунты влажностью $W = 31\%$ с числом пластичности $W_п = 15$. Моховой покров толщиной 8 см в уплотненном состоянии сохраняется под насыпью.

Расчет ведется так же, как и для автомобильных дорог (см. с. 70, пример 13). Предположим, что мы хотим иметь безосадочную насыпь, т.е. примем $S = 0$. Тогда формула (36) примет вид $H_{оп} = H_н$; - оптимальная высота насыпи равняется глубине оттаивания дорожной конструкции (по формуле (37).

Дорожная конструкция трехслойная - бетон, песок, гравийно-галечный грунт. Коэффициенты интенсивности оттаивания слоев по расчетным данным на с.11-12,в порядке слоев сверху вниз: $K_п = 1,37$; $K_п = 1,00$; $K_п = 1,21$. Нормативная влажность слоев по табл. 1 равна 2, 6, 5%. Глубины сезонного оттаивания слоев по формуле (5):

$H_т^I = 1,37.1,1.2,4 = 3,62$ м (по карте на рис. 1 $H_к = 2,4$, $k_{ω} = 1,1$);

$H_т^I = 1,00.0,98.2,4 = 2,35$ м (по карте на рис. 1 $H_к = 2,4$, $k_{ω} = 0,98$);

$H_т^{II} = 1,21.1,00.2,0 = 2,42$ м (по карте на рис. 3 $H_к = 2,0$, $k_{ω} = 1,00$).

По формуле (3) определяем глубину сезонного оттаивания конструкции насыпи:

$$H_н = 2,42 - \frac{2,42}{3,62}\,0,3 - \frac{2,42}{2,35}\,0,15 + 0,30 + 0,15 = 2,52 \text{ м}.$$

Высота отсыпки гравийно-галечной насыпи получается за вычетом слоев дорожной одежды, т.е.: $H = 2,52-0,30-0,15=2,07$ м.

Если вести расчет по допустимым деформациям, т.е. по формуле (36), то можно получить значительную экономию в земляных работах и тем удешевить стоимость строительства.

Примем расчетную осадку по табл. 24. При данном классе аэродрома $S = 0,005$ м. Определяем глубину сезонного оттаивания грунта основания насыпи. Имеем двухслойную толщу - мох и глинистый грунт. Глубина оттаивания каждого слоя в отдельности по формуле (1):

$H_т^I = 0,50$ м (по карте на рис. 4 - органический грунт);

$H_т^{II} = k_{ω} H_к = 0,88.1,6 = 1,41$ м (по карте на рис. 2 - глинистый грунт с влажностью 31%).

Глубина сезонного оттаивания грунта по формуле (2):

$$H_т = 1{,}41 - \frac{1{,}41}{0{,}50}\,0{,}08 + 0{,}08 = 1{,}26 \text{ м}.$$

Относительное сжатие грунтов основания насыпи при оттаивании под нагрузкой по графику на рис. 7 $\delta = 0{,}02$. Подставляем найденные значения в формулу (36), принимая во внимание, что $H_н$ остается той же величиной, которая была определена выше, т.е. $H_н = 2{,}52$ м.

$$H_{оп} = 2{,}52 - \frac{2{,}52 \cdot 0{,}005}{1{,}26}\left(\frac{1}{0{,}02} - 1\right) - 0{,}005 = 2{,}02 \text{ м}.$$

Высота отсыпки гравийно-галечной насыпи $H = H_{оп} - 0{,}30 - 0{,}15 = 2{,}02 - 0{,}45 = 1{,}57$ м. Таким образом, допустив осадку насыпи всего 5 мм, мы получаем значительную экономию в объеме земляных работ. Высота насыпи снижается на 0,5 м. Если допустить осадку в 10 мм, то, произведя аналогичный расчет, получим необходимую высоту насыпи 1,08 м. Высота насыпи снизится на 0,99 м.

Уменьшить высоту насыпи под аэродромным сооружением возможно также размещением в насыпи слоя эффективной теплоизоляции из плит твердого пенопласта или заливного пенопласта[x/].

Пенопласт теплоизолирующего слоя выбирается согласно СНиП I-В.15-69 "Материалы и изделия на основе полимеров" и должен обладать следующими физико-механическими свойствами:

предел прочности при 10%-ном сжатии - не менее 25 кгс/см^2;

коэффициент теплопроводности - не более 0,07 ккал/м.ч.^{0}С.

При применении пенопластов с открытопористой структурой необходима гидроизоляция всего теплоизолирующего слоя или каждой плиты в отдельности полиэтиленовой пленкой.

Теплоизолирующий слой должен иметь поперечные и продольные уклоны, по величине и направлению совпадающие с проектными уклонами покрытия аэродромного сооружения.

При применении эффективной теплоизоляции грунтовые слои насыпи назначаются конструктивно, а толщина теплоизоляции рассчитывается. Конструктивные слои (рис. 55) обычно назначаются следующей толщины:

---

x/ Способ разработан в институте Ленаэропроект, авторы В.Н.Иванов, И.И.Кравчук.

нижний слой, или слои запаса, ($h_м$) сохраняется в мерзлом состоянии круглый год. Его толщина принимается $h_м = 0{,}1$ м;

второй слой снизу (4), или дополнительный слой, ($h_д$) назначается толщиной от 0 до 0,6 м в зависимости от технико-экономических соображений. Чем дороже материал теплоизоляции и дешевле материал, из которого отсыпается насыпь (в большинст-

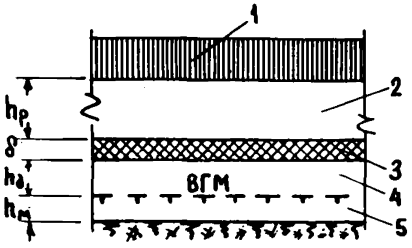


Рис. 55. Разрез аэродромной конструкции с применением слоя эффективной теплоизоляции: 1 - покрытие; 2 - распределительный слой; 3 - слой теплоизоляции; 4 - дополнительный слой; 5 - слой, остающийся в мерзлом состоянии круглый год

ве случаев этот материал привозной из карьера), тем мощнее принимается $h_д$ и наоборот;

верхний слой, или распределительный слой, ($h_р$), размещаемый между дорожной одеждой и слоем теплоизоляции, назначается не менее 0,5 м.

Высота насыпи получается равной

$$H = h_р + \delta + h_д + h_м , \qquad (50)$$

где δ - слой эффективной теплоизоляции, определяемой по графику на рис. 56 в зависимости от климатического фактора А и принятой толщины дополнительного слоя $h_д$.

Климатический фактор определяется по формуле

$$A = -\frac{\theta_л \, t_л}{\theta_о \, 365} , \qquad (51)$$

где $\theta_л$ - средняя температура поверхности покрытия аэродромного сооружения за период года с положительной температурой воздуха, ^{o}C;

θ_0 - температура вечномерзлой толщи грунтов на глубине 10 м от поверхности, определяемая на месте или взятая с карты СНиП П-18-76 "Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах";

$t_л$ - продолжительность теплого периода года (со среднесуточной температурой выше 0^oC), сутки.

Толщина теплоизоляции, полученная по графику на рис. 56, рассчитана для теплоизоляционного материала с коэффициентом теплопроводности λ = 0,04 ккал/м.ч.^oC. При использовании пе-

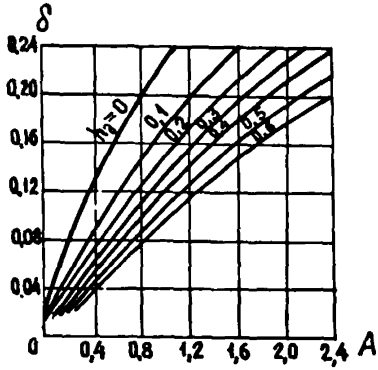


Рис. 56.График для расчета толщины слоя теплоизоляции

нопласта с другим коэффициентом теплопроводности толщина слоя теплоизоляции определяется из соотношения

$$\delta = \frac{\lambda \delta_{0,04}}{0,04}, \qquad (52)$$

где $\delta_{0,04}$ - толщина теплоизоляции, получаемая по графику на рис. 56.

Пример 20. Определить потребную высоту насыпи под ВПП с применением слоя эффективной теплоизоляции для условий примера 19, т.е. в Усть-Порте. По климатическому справочнику получаем: температура воздуха за теплый период года (средняя) $\theta_л = 7,9^oC$, продолжительность теплого периода $t_л$ = 122 суток. Температура на поверхности покрытия ВПП определяем по приближенной формуле

$$\theta_{л} = K_{ал}\left(2 + 1{,}15\,\theta_{в}\right), \qquad (53)$$

где $K_{ал}$ – коэффициент поправки на альбедо поверхности, применяемый только для "черных покрытий" и получаемый по табл. 10.

В нашем случае покрытие бетонное, для которого $K_{ал} = 1$, а потому получаем

$$Q_{л} = 2 + 1{,}15 \cdot 7{,}9 = 11{,}1^{0}C.$$

По карте из СНиП П-18-76 находим значение θ_{0} для Усть-Порта. Оно равно $\theta_{0} = -7^{0}C$. По формуле (51) определяем климатический фактор:

$$A = -\frac{11{,}1 \cdot 122}{-7 \cdot 365} = 0{,}53.$$

Приняв толщину дополнительного слоя грунта по экономическим соображениям $h_{д} = 0{,}3$ м, по графику на рис. 56 получаем толщину слоя теплоизоляции при коэффициенте ее теплопроводности $\lambda = 0{,}04$ ккал/м.ч.^{0}С $\delta = 0{,}09$ м. Предположим, что в качестве теплоизоляции в данном случае был принят пенопласт на основе полиуретана с $\lambda = 0{,}05$ ккал/м.ч.^{0}С. Тогда потребная толщина теплоизоляции по формуле (52) будет:

$$\delta = \frac{0{,}05 \cdot 0{,}09}{0{,}045} = 0{,}11 \text{ м}.$$

Высота насыпи по формуле (50) равна

$$H = 0{,}50 + 0{,}11 + 0{,}30 + 0{,}010 = 1{,}01 \text{ м}.$$

Условия производства работ при применении эффективной теплоизоляции следующие. Выравнивающий слой под теплоизоляцию ($h_{м} + h_{д}$ рис. 55) отсыпается по промороженному за зиму грунту основания до начала периода таяния. Уплотнение этого слоя производится в течение двух-трех недель после начала таяния. Укладка теплоизолирующего слоя делается в это же время по мере уплотнения выравнивающего слоя. Поверх теплоизоляции отсыпается слой песка толщиной не менее 10 см с крупностью зерен не более 10 мм. Уплотнение распределительного слоя ($h_{р}$, рис.

55) производится в два этапа: сначала уплотняется слой толщиной 25 см (включая слой 10 см засыпки пенопласта) вибрационным способом для исключения возможности смятия пенопласта; затем отсыпается верхний слой, уплотнять который разрешается уплотняющими механизмами на пневматиках.

Аэродромы на территориях, слагаемых вечномерзлыми грунтами, устраиваются, как правило, на насыпях. Поэтому отвод поверхностных вод осуществляется по системе водоотводных и нагорных канав, аналогично отводу воды от автомобильных и железных дорог (§ 10) с креплением канав по рис. 12 и 13. В местах перепусков поверхностных вод через ВПП и РД сооружаются водоперепускные трубы. Водосточные и осушительные сети с подземными коллекторами, водоприемными колодцами и дренажами не устраиваются.

§ 16. Покрытия аэродромов

Покрытия ВПП, РД, МС и перрона назначаются, как и в обычных условиях, в зависимости от класса аэродрома и устраиваются жесткого (преимущественно) или нежесткого типов.

Расчет аэродромных покрытий ведется на одну опору самолета или вертолета согласно категориям нагрузок, коэффициентам динамичности и перегрузки, приведенным в СН 120-70 "Указания по проектированию аэродромных покрытий". Для нагрузок I и II категорий принимается четырехколесная нагрузка, для III-VI категорий разрешается применять эквивалентную одноколесную нагрузку. Параметры нормативных нагрузок даны в табл. 25, классификационные показатели аэродромов - в табл. 26, а распределение нагрузок на опоры вертолетов при стоянке - в табл. 27.

Жесткие покрытия рассчитываются аналогично жестким покрытиям автомобильных дорог (см. § 13) с некоторыми особенностями[x]:

I. Вместо формулы (47) при определении толщины покрытия применяется формула

$$h = 0{,}515\, k_{\delta}\beta\gamma^{2}k_{ш}\frac{k_{д}k_{р}P_{оп}}{\omega}, \qquad (54)$$

x/ Расчет аэродромных покрытий для аэродромов, сооружаемых в области вечномерзлых грунтов, излагается по методике, разработанной Г.Я.Ключниковым (Ленаэропроект).

где $k_б$ и β – коэффициенты, учитывающие соответственно модуль упругости и жесткость слоистого основания; принимаются, как и в формуле (47), по графику на рис. 44;

r – радиус отпечатка одного колеса, см. Определяется по формуле

$$r = 0{,}564\sqrt{\frac{P}{q}}\ , \qquad (55)$$

здесь P – нагрузка на одно колесо опоры, кгс;

q – давление в пневматиках, кгс/см^2;

$P_{оп}$ – нормативная нагрузка на опору самолета;

$k_д$, $k_р$ – коэффициенты динамичности и перегрузки берутся по СН 120-70;

$k_ш$ – коэффициент влияния четырехколесного шасси самолета; принимается по расчетным данным, приведенным ниже в зависимости от отношения $\frac{R}{L}$, где R и L вычисляются по формулам:

$$R = \sqrt{x^2 + y^2}\ ; \qquad (56)$$

$$L = 0{,}533\,h\sqrt[3]{\frac{E_б}{E_o}}\ . \qquad (57)$$

Здесь x и y – расстояния между колесами шасси в продольном и поперечном направлении, см;

$E_б$ – модуль деформации бетона; берется по табл. 15;

E_o – общий (эквивалентный) модуль деформации слоев, подстилающих покрытие; определяется так же, как и при расчете жестких покрытий автомобильных дорог, в зависимости от расчетной схемы на рис. 39[x].

Расчетные значения коэффициента влияния четырехколесного шасси самолета $k_ш$ следующие:

R/L	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$k_ш$, 1/см^2	0,0043	0,0041	0,0038	0,0036	0,0034	0,0031

x/ Аэродромная конструкция (покрытие и основание) работает всегда в упругопластической стадии. Поэтому и при расчете по схеме I (рис. 39) определяется общий (эквивалентный) модуль деформации E_o, а не общий модуль упругости

Таблица 25

Параметры нормативных нагрузок для аэродромов

Категория нормативной нагрузки	Величина нормативной нагрузки на условную опору, т	Давление в пневматиках, кгс/см^2	Тип опоры
I	70	I,0	Четырехколесная
II	55	I,0	— " —
III	40	I,C	— " —
IУ	30	I,0	— " —
У	8	0,6	Одноколесная
УI	5	0,4	— " —

Таблица 26

Классификационные показатели аэродромов

Показатель	Класс аэродрома					
	А	Б	В	Г	Д	Е
Длина ИВПП в стандартных условиях, м	3200	2600	I800	I300	I000	500
Категория нормативной нагрузки	I	II	III	IУ	У	УI

Таблица 27

Распределение нагрузок на опоры вертолетов при стоянке

Тип вертолета	Расчетная масса вертолета, кг	Распределение нагрузки, %	
		Передние опоры	Основные опоры
Ми-6	42500	23,0	77,0
Ми-IOк	38000	I8,8	8I,2
Ми-8	I2000	27,0	73,0
Ми-4	7500	I7,0	83,0

2. Вместо формулы (48) для допустимого прогиба покрытия применяется формула

$$w = 0{,}791\gamma\sigma h , \qquad (58)$$

где γ - коэффициент, получаемый, как и в формуле (48), по графику на рис. 45.

σ - допускаемое напряжение в бетоне, определяемое по формуле

$$\sigma = 0{,}7\, m \cdot m_0 R_{р.и.} , \qquad (59)$$

Здесь 0,7 - коэффициент однородности бетона;

m - коэффициент условий работы покрытия на различных участках аэродрома, принимаемый по СН 120-70;

m_0 и $R_{р.и.}$ - то же, что и в формуле (49). Принимаются соответственно по табл. 16 и по табл. 15.

При расчете нежестких аэродромных покрытий расчетные схемы, модули деформации отдельных слоев и общий (эквивалентный) модуль деформации всего основания определяются так же, как и при расчете жестких покрытий автомобильных дорог (см. § 13). Разница заключается лишь в определении величины D (условный диаметр площади воздействия нагрузки на основание), указанной на графиках рис. 40-43. Они вычисляются по формуле

$$D = 1{,}43\left(h_1\sqrt{\frac{E_1}{E_0}} + h_2\sqrt{\frac{E_2}{E_0}} + h_3\sqrt{\frac{E_3}{E_0}}\right), \qquad (60)$$

где h_1, h_2 и h_3 - толщина слоев покрытия и его основания;

E_1, E_2 и E_3 - модули деформации этих слоев.

Определив по этой методике общий (эквивалентный) модуль деформации E_0 в основании покрытия, дальнейший расчет нежестких аэродромных покрытий ведут по СН 120-70 "Указания по проектированию аэродромных покрытий".

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава I. Инженерная подготовка местности	5
§ I. Определение глубины сезонного оттаивания грунтов	5
§ 2. Определение осадок поверхности грунта при его оттаивании	I3
§ 3. Вертикальная планировка местности	I8
§ 4. Обеспечение устойчивости склонов	22
§ 5. Организация поверхностного стока	27
§ 6. Предпостроечное промораживание грунтов	3I
§ 7. Предпостроечное оттаивание грунтов ...	43
§ 8. Борьба с наледями	48
Глава 2. Городские и пригородные дороги	60
§ 9. Архитектурно-планировочная организация застройки и транспортные пути города..	60
§ I0.Дороги в пригородной зоне	67
§ II.Обеспечение устойчивости насыпей	68
§ I2.Обеспечение устойчивости выемок, нулевых мест и городских улиц	76
§ I3.Дорожные одежды автомобильных дорог и улиц	80
Глава 3. Городские аэродромы и вертодромы	97
§ I4.Аэропорты и вертопорты в городской черте	98
§ I5.Летное поле на вечномерзлых грунтах ..	II3
§ I6.Покрытия аэродромов	I20

Л е н З Н И И Э П

ПОСОБИЕ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ МЕСТНОСТИ И ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ГОРОДАХ СЕВЕРА

Составитель А.Л.Ястребов

Научный редактор А.Ф.Антонов
Редактор Г.Г.Яцевич
Оформление художника Б.А.Зайончека
Технический редактор Г.Л.Буяло
Корректор Г.Н.Казакович

Сдано в набор 29/I-1976г. Подписано к печати 29/X-76г. М-44591.
Формат 60x84/16 Бумага типографская № 2 усл-печ. л. 7,26
(уч.-изд.л. 7,60) Тираж 1000 экз.

Изд. № 1869Л3 Заказ 871 Цена 38 коп.

Стройиздат, Ленинградское отделение
191011, Ленинград, пл.Островского, 6

Отпечатано на ротапринте ЛенЗНИИЭПа

gost.e-ecolog.ru