МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА



МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРЫХЛЕННЫХ МЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ, СОХРАНЯЕМЫХ В МЁРЗЛОМ СОСТОЯНИИ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ (ДЛЯ ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА)

Издание официальное

Москва 2003

gost.e-ecolog.ru

1. Разработаны ФГУП «СоюздорНИИ».

2. Внесены Департаментом эксплуатации и сохранности автомобильных дорог.

3. Приняты и введены в действие распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации от 15.10.2003 № ОС-905-р.

Настоящие Методические рекомендации не могут быть полностью или частично воспроизведены, тиражированы и распространены в качестве официального издания без разрешения Росавтодора.

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
(РОСАВТОДОР)

Введены в действие
распоряжением Минтранса России
от 15.10.2003 г. № ОС-905-р

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРЫХЛЕННЫХ МЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ, СОХРАНЯЕМЫХ В МЁРЗЛОМ СОСТОЯНИИ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ (ДЛЯ ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА)

Издание официальное

Москва 2003

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие Методические рекомендации разработаны в развитие ВСН 84-89 «Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты». Методические рекомендации предназначены для использования при проектировании объектов опытно-экспериментального строительства с применением в насыпях разрыхленных мерзлых грунтов, сохраняемых в мерзлом состоянии во время эксплуатации автомобильных дорог, проектируемых по принципу сохранения вечной мерзлоты.

Рекомендации составлены с использованием ранее разработанных СоюздорНИИ «Методических рекомендаций по проектированию и устройству теплоизоляционных слоев дорожной одежды из пенополистирольных плит «Пеноплэкс», утвержденных распоряжением Минтранса № 00-35-р от 20.12.2000, а также с использованием ВСН 84-89 «Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты»; СНиП II-А.6-72 «Строительная климатология и геофизика», М., Стройиздат, 1973; СНиП 2.02.04-88 «Основания и фундаменты зданий на вечномерзлых грунтах», М., Стройиздат, 1990.

Методические рекомендации разработали:
д-р техн. наук, проф. В.Д. Казарновский,
д-р геолого-минер. наук, проф. С.Е. Гречищев,
к.т.н. Е.С. Пшеничникова,
к.г.м.н. Ю.Б. Шешин,
к.т.н. А.В. Павлов
при участии н.с. О.В. Гречищевой.

Реализация настоящих Методических рекомендаций при проектировании и строительстве должна осуществляться при обязательном научном сопровождении. При этом должны предусматриваться стационарные наблюдения за построенными конструкциями в процессе их эксплуатации с целью предупреждения и ликвидации возможных по тем или иным причинам аварийных ситуаций, а также для последующей корректировки (при необходимости) настоящих Методических рекомендаций.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие рекомендации предназначены для применения в условиях 1-й дорожно-климатической зоны РФ.

1.2. Рекомендации предусматривают использование разрыхленных мерзлых грунтов при сооружении насыпей с формированием и сохранением мерзло-комковатого ядра насыпи на все время эксплуатации.

1.3. Рекомендации предназначены для автомобильных дорог общего пользования, сооружаемых в зоне вечной мерзлоты по принципу, независимо от их категорийности (применение предлагаемых решений для тех или иных категорий определяется только технико-экономическими соображениями). При этом предполагается одностадийное строительство.

1.4. Эффект от применения мерзло-комковатых грунтов, сохраняемых в мерзлом состоянии в конструкциях земляного полотна на вечной мерзлоте, может быть получен за счет:

- уменьшения объема привозных качественных грунтов и открывающихся возможностей использования в нижней части насыпи местных мерзло-комковатых грунтов с сохранением их в мерзлом состоянии с помощью конструктивных методов;
- сокращения объемов замены грунтов в основании дорожных одежд в выемках в вечномерзлых грунтах;
- сокращения сроков строительства в результате перехода на одностадийное строительство;
- повышения надежности и долговечности дорожных конструкций, устраиваемых с сохранением вечной мерзлоты;
- снижения экологического ущерба при строительстве дорог в зоне вечной мерзлоты;
- возможного снижения затрат на уплотнение нижней части насыпей, в которой используются мерзло-комковатые грунты;
- снижения затрат на ремонтные работы.

1.5. Конструктивные решения с использованием мерзло-комковатых грунтов назначаются на основе специальных теплофизических и прочностных расчетов, принципы которых

изложены в п.6. Уточненные расчеты выполняются с помощью специальных компьютерных программ.

При проектировании конструкции необходимо учитывать возможное влияние механических свойств теплоизолирующих слоев и мерзло-комковатого ядра на прочность дорожной одежды.

1.6. Реализация настоящих Методических рекомендаций предполагается в опытно-экспериментальном порядке при обязательном научном сопровождении согласно требованиям ОС-754-р от 10.09.02 «Временное руководство по организации освоения инноваций при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог», М., 2002 г.

2. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ

2.1. Использование мерзло-комковатых грунтов, сохраняемых в мерзлом состоянии во время эксплуатации, возможно только при строительстве по первому принципу в 1-й и 2-й подзонах I дорожно-климатической зоны (ВСН 84-89), которые примерно соответствуют зоне сплошного распространения вечной мерзлоты, при следующих условиях:

- температура грунтов на глубине нулевых годовых амплитуд ниже -1,5°С;

- широкое развитие мерзлотных процессов и явлений: подземные льды различного генезиса, бугры пучения, термокарст, морозобойное растрескивание, солифлюкция, наледные участки и т.п.;

- наличие грунтов IV – V категории просадочности.

2.2. Для реализации 1-го принципа следует использовать следующие конструктивные способы сохранения мерзло-комковатого ядра насыпи и мерзлоты в ее основании:

- устройство из обычных грунтов насыпей высотой, обеспечивающей сохранение мерзло-комковатого ядра и вечной мерзлоты в основании насыпи; требуемую для этого высоту насыпи определяют по теплотехническим расчетам;

- применение устройств искусственного охлаждения земляного полотна (сезонно-охлаждающих установок СОУ, термосифонов, вентиляционных каналов и др.);

- устройство в земляном полотне специальных теплоизоляционных слоев (в том числе из пенопластовых плит, торфа и др.), обеспечивающих сохранение мерзло-комковатого ядра и мерзлоты в основании; при этом требуемую толщину слоев и их расположение в конструкции определяют на основе теплотехнических расчетов.

Выполнение основных объемов работ по сооружению земляного полотна производят в зимнее время.

Решение в пользу того или иного конструктивного способа принимается на основании экономических или иных соображений.

3. ОБЩАЯ МЕТОДИКА НАЗНАЧЕНИЯ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ С МЕРЗЛО-КОМКОВАТЫМ ЯДРОМ

3.1. Исходной информацией для назначения дорожной конструкции с мерзло-комковатым ядром служит:

- дорожно- климатическая зона;
- требуемая высота насыпи по условиям снегонезаносимости;
- толщина насыпи, обеспечивающая сохранение вечной мерзлоты без применения теплоизолирующих слоев.

3.2. Общий порядок разработки проектного решения земляного полотна автомобильной дороги в районе, где целесообразно применение принципа сохранения вечной мерзлоты, должен предусматривать следующее:

- проложение трассы дороги с учетом требований действующих СНиП, ландшафтных комплексов и мерзлотно-грунтовых условий, обеспечивающее получение решения близкого к оптимальному с точки зрения реализации принятого принципа проектирования с учетом возможных затрат на строительство и эксплуатацию дороги;

- построение продольного профиля, отвечающего требованиям СНиП к дороге рассматриваемой технической категории; при построении продольного профиля в качестве

руководящей рабочей отметки земляного полотна принимается высота насыпи, отвечающая условиям снегонезаносимости для данного района;

- выделение по построенному продольному профилю участков, высота насыпи на которых обеспечивает целесообразность применения мерзло-комковатых грунтов, сохраняемых в мерзлом состоянии во время эксплуатации; для выполнения этой процедуры осуществляются теплофизические расчеты с прогнозным оценками;

- выполнение расчетов, уточняющих требуемую толщину теплоизолирующего слоя с учетом конкретных условий (высоты насыпи, грунта, дорожной одежды, конкретных климатических данных, срока строительства и т.п.).

3.3. После выполнения теплотехнических расчетов и определения требуемой толщины теплоизолирующих слоев принятая ранее конструкция дорожной одежды должна быть проверена на прочность с учетом реальной толщины теплоизолирующих слоев.

4. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕРЗЛО-КОМКОВАТЫХ ГРУНТОВ В НАСЫПЯХ

4.1. При конструировании насыпей с применением мерзло-комковатых грунтов, сохраняемых в мерзлом состоянии во время эксплуатации, следует учитывать следующие обстоятельства:

- комковатый грунт должен находиться в мерзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации дороги;

- не исключена некоторая вероятность возникновения опасных мерзлотных процессов и явлений, в связи с чем тепловые и прочностные характеристики земляного полотна должны назначаться со значительным запасом;

- конструкция должна быть экономична и технологична.

4.2. Одним из условий сохранения грунта насыпи в мерзлом состоянии является его гидроизоляция. Так, в начале теплого сезона, когда отрицательная температура грунта достаточно низкая и составляет -8 – -10° С, попавшая в насыпь вода замерзает, образуя

ледяной прослой, при этом происходит незначительное повышение температуры грунта. Затем в течение теплого сезона отрицательная температура мерзлого грунта повышается и при дальнейшем попадании туда воды ее отепляющее воздействие может привести к оттаиванию верхнего слоя мерзлого грунта и, соответственно, к его просадке.

В качестве гидроизоляции в данном случае может быть использована обойма из полиэтиленовой рулонной пленки (ГОСТ 10354-82), стабилизированной сажей.

4.3. Выбор конструкции насыпи должен быть осуществлен на основе решения теплофизической задачи для участков дороги со сходными условиями, как-то: наличие мерзлотных процессов и явлений, обводненность, мощность деятельного слоя на участке. В нормативных документах последний фактор, как правило, практически не учитывается, что может привести к проектным ошибкам.

При сооружении насыпей по первому принципу (с сохранением основания насыпи в мерзлом состоянии) на участках с деятельным слоем значительной мощности (2,5 – 3,5 м) в результате воздействия тепловых потоков сбоку – со стороны оттаявшего деятельного слоя – наблюдается оттаивание основания насыпи у ее подошвы и, как следствие этого, просадка. В этом случае необходимо устраивать теплоизоляцию на поверхности грунта рядом с подошвой насыпи и присыпать ее песчаным грунтом. Минимальную мощность деятельного слоя, при которой необходимо устраивать горизонтальную теплоизоляцию, следует определять на основании расчета температурных полей.

4.4. Для сохранения нижней части насыпи в мерзлом состоянии в качестве теплоизолятора в настоящее время, как правило, применяют торф, поскольку он достаточно широко распространен и дешев.

Однако использование торфа имеет свои недостатки. Торф в значительно большей степени, чем другие грунты, подвержен криогенному растрескиванию, которое представляет собой образование и рост температурных трещин в грунте вследствие понижения его температуры в зимнее время ниже 0°С. Трещины

образуются в результате возникающих в грунте температурных напряжений, превышающих предел прочности грунта на разрыв. Так, образование трещин в слое песка возможно при его температуре -21 – - 24°С, в глинистом грунте при - 14° С, в торфе – при -12°С. Возникшая в слое торфа трещина может привести к разрушению всей конструкции по двум причинам: трещина будет прорастать в близлежащие слои из других материалов, в том числе и мерзло-комковатый грунт, прорвав гидроизоляцию; в образовавшуюся трещину в теплое время года может попасть вода и вызвать оттаивание мерзло- комковатого грунта.

Следует также учитывать возможность сегрегационного льдовыделения в торфе. Образование шлиров льда происходит параллельно направлению изотерм. Поскольку изотермы на откосах насыпи располагаются примерно параллельно поверхности откоса, прослой шлиров льда может образовать поверхность скольжения и вызвать оползание откоса.

Поэтому торфяные элементы конструкции насыпей следует проверять на возможность криогенного растрескивания и сегрегационного льдообразования.

4.5. В настоящее время в качестве теплоизолятора может быть применен пенопласт, используемый в дорожном строительстве и обеспечивающий как теплозащиту, так и прочность. Однако стоимость строительства при этом, по сравнению с теплоизоляцией торфом, может существенно возрасти. Тем не менее, на тех участках, где отсутствует торф, пригодный для теплоизоляции, применение пенопласта может оказаться экономически целесообразным. В некоторых документах предлагается также использование вместо торфа торфопесчаной смеси. Последняя обладает более высокой теплопроводностью, но и большей прочностью на сжатие и трещинообразование.

4.6. При конструировании насыпи следует учитывать наличие макропор в мерзло-комковатом ядре. При уплотнении мерзлого комковатого глинистого грунта происходит более плотная упаковка комьев, однако разрушению они поддаются мало, поэтому образование макропор можно считать практически неизбежным. Известно, что при отрицательных температурах и взаимодействии

мерзлого грунта с воздухом происходит сублимация порового льда, иссушение поверхности мерзлого грунта и перенос влаги в виде пара в более холодные области грунта. Иссушение поверхности комьев мерзлого грунта насыпи, т.е. потеря льда, как цементирующего материала, может привести к их деформации, перемещению относительно друг друга и просадке тела насыпи. Это может произойти в том случае, если влага свободно перемещается вверх. В случае же замкнутых макропор устанавливается равновесие между насыщенностью пара и льдистостью грунта и дальнейшего иссушения поверхности комьев не происходит. Достигшая верхнего мерзлого водоупорного слоя влага оседает на нем, образуя кристаллы льда, рост которых может вызвать пучение.

Для исключения сублимационного иссушения мерзлого комковатого грунта насыпи проницаемость по макропорам должна быть обеспечена как можно меньшей либо поровый воздух должен содержать насыщенный пар. Это же необходимо также в связи с тем, что в сообщающихся порах возникает конвективный теплообмен, что может способствовать повышению температуры мерзло-комковатого ядра в летнее время.

4.7. Для защиты от перечисленных выше процессов к конструкции насыпи должны быть предъявлены следующие общие требования.

- Теплоизоляция нижней части насыпи, отсыпанной из мерзло-комковатого дисперсного грунта, должна быть выполнена из пенопласта, торфа или их комбинации; толщина теплоизолирующего слоя назначается на основе теплотехнического расчета.

- Теплоизоляция должна быть выполнена из пенопласта на проезжей части и обочинах и торфа или торфопесчаной смеси на откосах (в зависимости от наличия торфа и песка). Помимо теплотехнического расчета необходим расчет на трещинообразование и рост сегрегационных прослоев льда. При использовании данной конструкции требуется меньше дорогостоящего пенопласта, но усложняется технология

строительства. Окончательный выбор должен быть осуществлен на основе экономического обоснования.

4.8. Для исключения негативного влияния пароперепоса возможны следующие варианты конструктивных решений:

- использование сухо-мерзлого песчаного заполнителя совместно с комковатым грунтом по всей высоте мёрзлого ядра насыпи;

- после каждого уплотняемого слоя комковатого грунта (толщина слоя 0,5 – 0,4м) устройство прослоев песка толщиной 3-5 см для прерывания конвекции воздуха и пара;

- устройство гидроизолирующих прослоек над каждым слоем мерзло-комковатого грунта.

В первом варианте стоимость строительства существенно возрастает за счет стоимости дополнительного материала (песка), однако наличие песчаного заполнителя дает некоторый запас прочности в случае аварийного протаивания мерзлого грунта, повышает надежность. Необходимое количество заполнителя определяют расчетом с учетом пустотности комковатого грунта. Такие конструкции следует использовать на участках с крайне неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями, где существует возможность обводнения и подтопления, и отепляющее воздействие воды может вызвать непрогнозируемое протаивание мерзлого грунта.

Во втором и третьем вариантах прослои ограничивают пароперенос в пределах уплотняемого слоя. Стоимость строительства возрастает уже в меньшей степени по сравнению с предыдущим вариантом (во втором варианте – за счет стоимости песка, в третьем – за счет стоимости гидроизолирующего материала и дополнительной технологической операции).

5. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ВАРИАНТЫ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПЫТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

5.1. Варианты конструкций дорожных одежд

5.1.1. Предусматривается возможность устройства двух вариантов конструкции дорожной одежды:

- жесткой дорожной одежды;

- нежесткой дорожной одежды.

5.1.2. Жесткая дорожная одежда предусматривается в традиционном для северных условий виде:

- покрытие из ПАГ-XIV;

- песчаное основание с коэффициентом фильтрации не менее 2 м/сут (слой не менее 30 см);

- на границе песчаное основание – покрытие укладывается геотекстиль. В качестве усиленного варианта предлагается в опытном порядке заменить геотекстиль на объемную георешетку («Геовеб», «Прудон» и т.п.) с минимальной высотой 5 см.

5.1.3. Нежесткая дорожная одежда предлагается в двух подвариантах:

- двухслойное асфальтобетонное покрытие толщиной не менее 18 см;

- щебеночное основание толщиной 25-30 см (определяется по расчетам);

- песчаный подстилающий грунт (верхняя часть земляного полотна) с коэффициентом фильтрации не менее 2 м/сут (слой не менее 30 см).

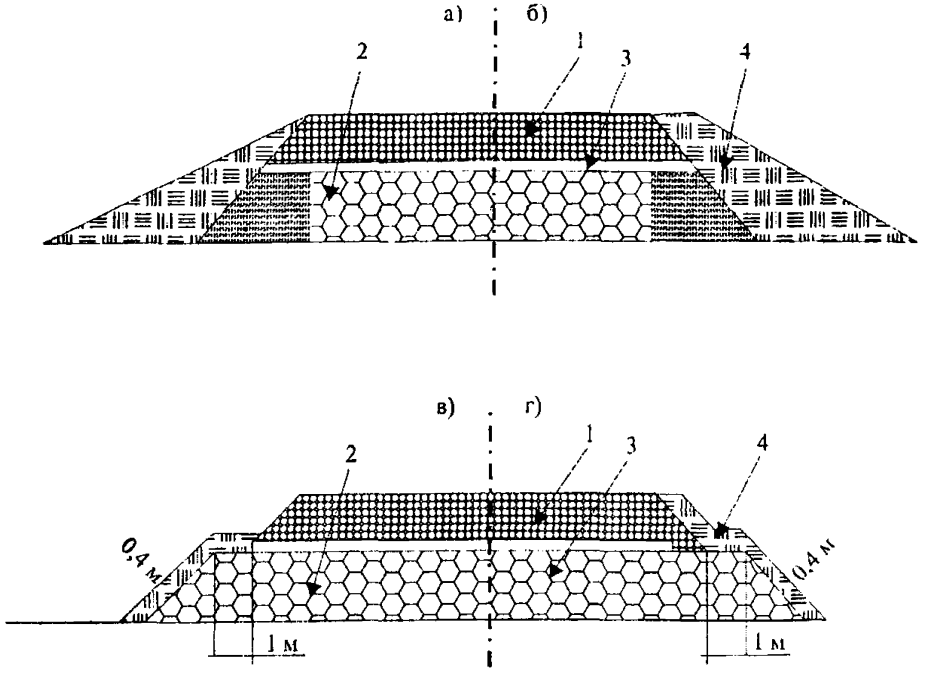
5.1.4. Для повышения надежности конструкций дорожных одежд целесообразно рассмотреть применение, наряду с традиционными, вариантов с конструктивными слоями на основе объемных георешеток (с заполнением песком). В этом случае геометрические параметры дорожной одежды должны быть дополнительно уточнены на основе специальных расчетов с выполнением технико-экономического анализа.

5.2. Варианты конструкций земляного полотна на опытных участках

5.2.1. Принципиальная схема конструкции насыпи с использованием мерзлого грунта в нижней части насыпи без его оттаивания представлена на рис.1. Она включает следующие конструктивные элементы:

- верхняя часть насыпи из привозного песчаного грунта;

- нижняя часть насыпи (ядро) из местного мерзло-комковатого (разрыхленного мерзлого) грунта;



Примечание. Типы теплоизоляции откосов «а» – «г» могут применяться избирательно во всех конструкциях насыпи из мерзло-комковатых грунтов.

Рис. 1. Принципиальные схемы конструкции насыпи с ядром из мерзло-комковатого грунта с различными вариантами теплозащиты откосов:
1 - верхняя (оттаивающая) часть из песчаного грунта;
2 - ядро из мерзло-комковатого грунта; 3 - тепло-гидроизолирующая прослойка; 4 - откосная присыпка из торфяного грунта

- тепло- и гидроизолирующая прослойка;

- торфяная присыпка откосной части.

5.2.2. Теплоизолирующая часть тепло- и гидроизолирующей прослойки может иметь различное конструктивное решение и устраиваться из:

- торфа;

- пенопласта;

- торфа и пенопласта.

5.2.3. Наряду с тепло- и гидроизолирующей прослойкой для поддержания ядра в мерзлом состоянии может быть предусмотрена система вентиляции. Система вентиляции может быть устроена с помощью сезонно-охлаждающих устройств в добавление или взамен тепло- и гидроизолирующей прослойки, что определяется теплотехническим расчетом.

5.2.4. Требуемая эффективность тепло- и гидроизолирующей прослойки зависит от ее конструкции, включая толщины слоев и термоизолирующих материалов и сочетание этих слоев.

Требуемая толщина тепло- и гидроизолирующей прослойки определяется для конкретных высот насыпей по теплотехническому расчету с последующей проверкой дорожной одежды на прочность.

При расчете вариантов конструктивных параметров и условий расположения прослоек по глубине принимаются следующие ограничения:

- высота насыпи не менее высоты снегонезаносимой насыпи;

-толщина торфяной прослойки не более 0,5 м (технологическое условие);

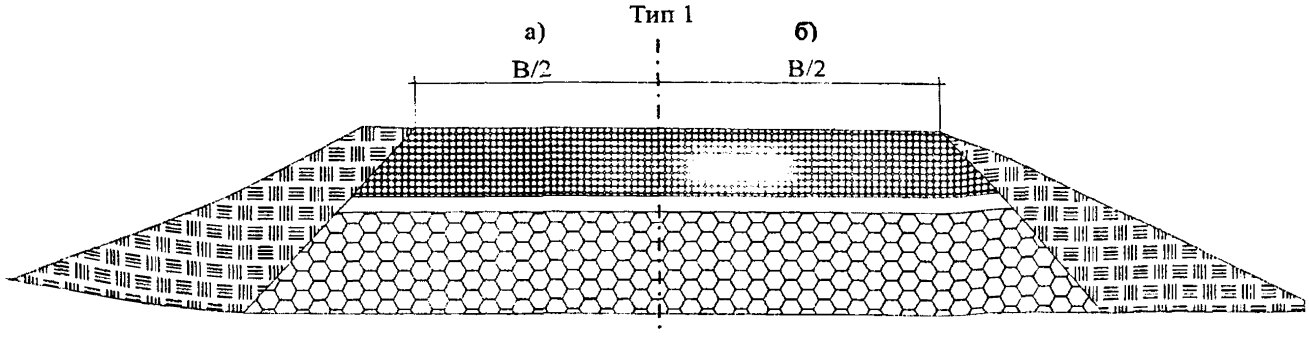
- толщина ядра из мерзло-комковатого грунта не менее 0,5 м (условие технико- экономической целесообразности);

- толщина песчаного слоя над прослойкой не менее 0,3 м (технологическое условие применения пенопласта).

5.2.5. Для реализации на опытных участках предполагаются конструкции земляного полотна, представленные на рис. 2-5.

Тип 1. Конструкция с теплоизоляцией из слоя торфа (рис.2).

Толщина слоя торфа (20-40 см) назначается из условия уплотнения в один слой с проверкой глубины его расположения по теплотехническому расчету дорожной одежды на прочность.



ПАГ-XIV
Геотекстиль (вариант геовеб с заполнением песком)
Песок > 50 см (при применении геовеба толщина песка – 45 см)
Торф – 40 см
Гидроизоляция на песчаном монтажном слое – 5 см
МКГ

Асфальтобетон плотный – 8 см
Асфальтобетон пористый – 10 см
Щебеночно-песчаная смесь – 20 см
Песок > 50 см
Торф – 40 см
Гидроизоляция на песчаном монтажном слое – 5 см
МКГ

Примечание. Тип теплоизоляции откосов в конструкциях а) и б) взаимозаменяемы.

Рис.2. Дорожные конструкции из мерзло-комковатого грунта при высоте насыпи > 2 м (с вариантами теплоизоляции откосов «а» и «б» рис.1)

Тип 2. Конструкция с теплоизоляционным слоем из пенопласта (рис.3).

Толщина теплоизоляционного слоя из пенопласта принята равной не менее 6 см (с учетом номенклатуры теплоизоляционных плит «Пеноплэкс», выпускаемых отечественной фирмой).

Глубина расположения теплоизоляционного слоя определена теплотехническим расчетом и проверена расчетом дорожной одежды на прочность.

Пенопласт укладывается на выравнивающий песчаный слой толщиной не менее 5 см, располагаемый на горизонтальной поверхности мерзлого ядра.

Тип 3. Конструкция с теплоизоляцией из слоя торфа и слоя пенопласта (рис.4).

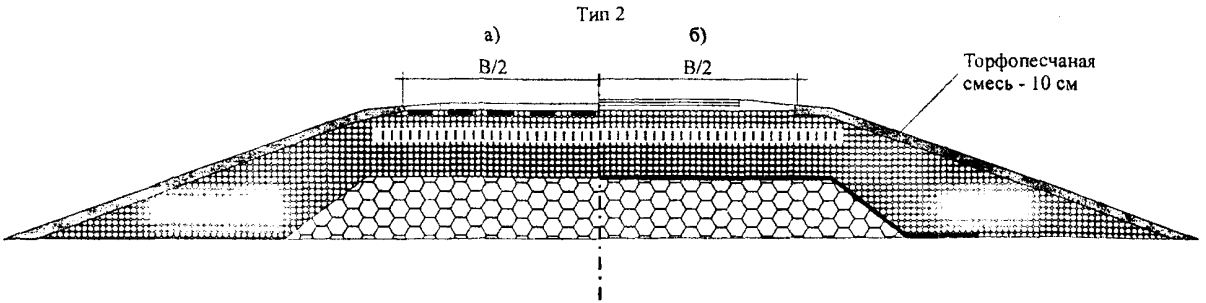
Конструкция обеспечивает возможность получения минимальной толщины тепло-гидроизолирующего слоя.

Тип 4. Конструкция без устройства специального теплоизолирующего слоя (рис.5).

5.2.6. Во всех конструкциях защита ядра от оттаивания со стороны откосов обеспечивается устройством на откосах торфяных призм. При этом минимальная толщина торфяной призмы над ядром по нормали к откосу должна быть не менее глубины сезонного оттаивания в торфе.

5.2.7. Во всех случаях для повышения надежности конструкции должна быть предусмотрена гидроизоляция откосных частей и мерзлого ядра. Для гидроизоляции целесообразно использовать специальный материал на основе геотекстиля, пропитанный битумом. При устройстве гидроизоляции поверхности мерзлого ядра придается поперечный уклон.

Тепло-гидроизоляцию можно не предусматривать при расположении мерзлого ядра на глубине более 3,0 м от поверхности полотна (тип 4).

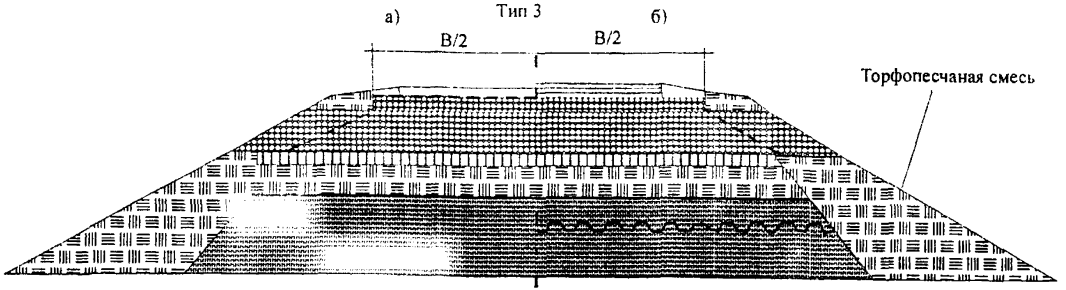


ПАГ-XIV
Геотекстиль
Песок > 40 см
Пенопласт 6 см
Песок > 80 см
МКГ

Асфальтобетон плотный – 8 см
Асфальтобетон пористый – 10 см
Щебеночно-песчаная смесь – 20 см
Песок > 40 см
Пенопласт 6 см
Песок > 80 см
Гидроизоляция на песчаном монтажном слое – 5 см

Примечания: 1. Конструкция по типу а) предполагает возможность (необходимость) устройства гидроизолирующей прослойки (по расчету) в зависимости от высоты насыпи. 2. Варианты устройства ядра из МКГ в подтипах «а» и «б» взаимозаменяемы.

Рис.3. Дорожные конструкции из мерзло-комковатого грунта при высоте насыпи > 2 м (с вариантом теплоизоляции по типу «б» рис.1)

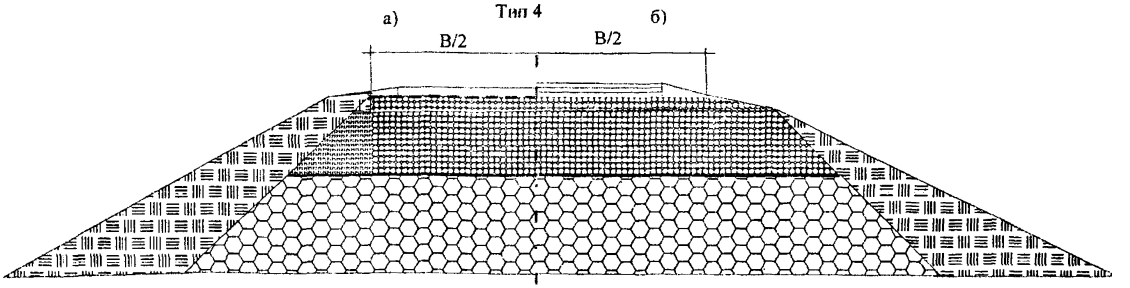


ПАГ-XIV
Геотекстиль
Песок > 50 см
Пенопласт – 6 см
Торф – 25 см
Гидроизоляция на песчаном монтажном слое – 5 см МКГ

Асфальтобетон плотный – 8 см
Асфальтобетон пористый – 10 см
Щебеночно-песчаная смесь – 25 см
Песок > 50 см
Пенопласт – 6 см
Торф – 25 см
Гидроизоляция на песчаном монтажном слое – 5 см МКГ
Паронепроницаемая прослойка на песчаном монтажном слое – 5 см МКГ

Примечания: 1. Конструкция может быть применена и для насыпи < 1,5 м при внесении необходимых коррективов в конструкцию нежесткой дорожной одежды. 2. Пунктир на откосах - граница слоя торфа (торфопесчаной смеси). 3. Типы теплоизоляции откосов в конструкциях «а» и «б» взаимозаменяемы. 4. Глубина заложения паронепроницаемой прослойки определяется специальным расчетом с учетом толщины ядра из МКГ.

Рис.4. Дорожные конструкции из мерзло-комковатого грунта при высоте насыпи ≥ 1,5 м (с вариантом теплоизоляции «б» рис.1)



ПАГ-XIV
Геотекстиль
Песок с $K_ф$ > 2 м/сут – 20 см
Песок > 280 см
Гидроизоляция на песчаном монтажном слое – 5 см
МКГ

Асфальтобетон плотный – 8 см
Асфальтобетон пористый – 10 см
Щебеночно-песчаная смесь – 25 см
Песок > 280 см
Гидроизоляция на песчаном монтажном слое – 5 см
МКГ

Примечание. Возможен вариант без гидроизоляции.

Рис.5. Дорожные конструкции из мерзло-комковатого грунта при высоте насыпи > 3,5 м (с вариантами теплоизоллиии откосов «а» и «б» рис. 1)

5.2.8. При толщине ядра более 1 м следует внутри него предусматривать мембрану, защищающую от перемещения паров воды в результате сублимации льда из комьев мерзлого грунта.

5.2.9. Предлагается предусмотреть два варианта устройства мерзлого ядра:

- ядро только из мерзло-комковатого грунта;
- ядро из мерзло-комковатого грунта с добавлением сыпучемерзлого грунта (до 30% по объему).

5.2.10. Параметры рекомендуемых к опытному строительству конструкций, представленных на рис. 2-5, назначаются на основе теплотехнических расчетов для условий района строительства с уточнением конструкции нежесткой дорожной одежды по результатам расчета на прочность по ВСН 46-83 (для типовой конструкции жесткой дорожной одежды с ПАГ-XIV уточнений не требуется вследствие высокой несущей способности сборных плит).

В расчете следует принимать значения расчетных параметров материалов конструктивных слоев, представленные в табл.1. Параметры свойств мерзло-комковатых грунтов даются как первое приближение и должны быть уточнены в процессе стационарных наблюдений на опытных участках.

Расчеты на прочность рекомендуется проводить по ВСН 46-83 для дороги III технической категории с расчетной интенсивностью движения расчетных автомобилей, равной 100 авт./сут при требуемой надежности 0,94.

5.2.11. Для повышения надежности конструкции и снижения (при условии обеспеченной термоустойчивости) толщин отдельных конструктивных слоев в конструкции может быть предусмотрено устройство несущего слоя на основе объемных георешеток. В этом случае корректировка конструкции осуществляется по специальной методике.

5.3. Требования к материалам, применяемым в конструктивных элементах насыпей с использованием мерзло-комковатых грунтов

5.3.1. Верхняя часть насыпи (над теплоизолирующей прослойкой) должна устанавливаться только из сыпучемерзлого песчаного грунта, позволяющего получить требуемую действующими нормами степень уплотнения (ВСН 84-89).

Таблица 1

Расчетные параметры материалов

Материал	Плотность сухого грунта $\rho_{ск}$, кг/м^3	Влажность W, д.е., весовая / объемная	Теплофизический расчет		Расчет на прочность				
			λ, вт/м·К	$c \cdot 10^6$, Дж/м^3·К	$E_{упр.пр}$, МПа	$E_{сдв.}$, МПа	$E_{раст.изг.}$, МПа	φ, град.	C, МПа
Асфальтобетон плотный	2328	-	1,40	3,9	3200	1800	4500	—	—
Асфальтобетон пористый	2340	—	1,25	2,9	2000	1200	2800	—	—
Щебеночно-песчаная смесь	1800	0,05 / 0,09	1,5	1,6	180	180	180	—	—
Песок основания и песчаный грунт	1600	0,07 / 0,10	1,5	2,0	100	100	100	38	0,005
Пенопласт	50	—	0,03	0,06	20	20	20	—	—
Торф в теплоизолирующем слое	300	2,5 / 0,75	0,6	3,15	3,5	3,5	3,5	—	—
Мерзло-комковатый грунт	900	0,18 / 0,25	1,0	1,0	15	15	15	—	0,05

5.3.2. Торф, используемый для устройства теплоизолирующего слоя, должен относиться к типу I-А (ВСН 26-90) и иметь влажность не более 500-600 %. При устройстве прослойки должно быть осуществлено уплотнение торфа до плотности не менее 0,16 г/см^3.

5.3.3. Мерзло-комковатый грунт, используемый для устройства ядра, должен иметь размеры комьев не более 2/3 толщины слоя из мерзло-комковатого грунта, подвергающегося уплотнению имеющейся уплотняющей техникой. При этом максимальный размер комьев не должен превышать 30 см.

Для уплотнения мерзло-комковатого слоя следует использовать наиболее тяжелые виброкатки.

Контроль уплотнения ведется аналогично контролю уплотнения крупнообломочных грунтов, предусмотренному действующими нормами.

Степень увлажнения комьев мерзлого грунта не регламентируется.

Укладку и уплотнение мерзло-комковатых грунтов в насыпи следует производить при температуре воздуха не ниже допустимой по условию смерзания комьев, препятствующего их уплотнению (примерно -15 – -20°С).

5.3.4. Применяемый пенопласт должен обладать свойствами, обеспечивающими возможность его использования в дорожной конструкции. Такими свойствами обладают экструзионные пенопласты, в частности, полистирольные плиты «Пеноплэкс», которые рекомендуется использовать в опытном строительстве.

5.3.5. Гидроизоляционный материал, применяемый для защиты ядра, должен обладать достаточной пластичностью при низких температурах. То же относится и к материалу мембраны. Следует использовать гидроизоляционный материал на базе геотекстиля.

6. РАСЧЕТЫ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С МЕРЗЛО-КОМКОВАТЫМИ ГРУНТАМИ

6.1. Теплофизические расчеты

6.1.1. Теплофизические расчеты насыпей, в конструкции которых применимы мерзло-комковатые грунты, производятся для

следующих целей: (а) выбора толщины и конструкции теплоизолирующего слоя и общей конструкции насыпи, обеспечивающих многолетнее непротаивание ее мерзло-комковатого ядра; (б) выбора толщины теплоизолирующего слоя с целью уменьшения под ним амплитуды отрицательных температур до допустимой по условиям морозобойного растрескивания нижележащего грунта.

6.1.2. Теплофизические расчеты конструкций насыпей могут производиться с использованием двухмерных математических моделей – программ расчета температурных полей с протаиванием/промерзанием, например, программ МГУ, МИСИ, Фундаментпроекта и др. С достаточной точностью могут быть произведены необходимые расчеты также с помощью одномерных моделей, рекомендуемых ниже. Практика показывает, что погрешность их расчетов не превышает 10-15% по сравнению с двумерными моделями.

6.1.3.Расчет многолетнего непротаивания мерзло-комковатого ядра в летнее время производится подбором необходимой конструкции и толщины теплоизолирующих слоев, необходимых для исключения летнего протаивания мерзло-комковатого ядра, на основании приближенного одномерного теплотехнического расчета многослойной конструкции.

Для расчета используется расчетная схема, которая предполагает, что разрез конструкции над поверхностью массива грунта, сохраняемого в мерзлом состоянии, включает N слоев. Номера слоев (i) изменяются от i = 1 для первого сверху слоя дорожного покрытия до i = N для грунтов мерзлого ядра насыпи.

Каждый i-й слой характеризуется толщиной (h_i , м), объемной теплоемкостью (c_i, Дж/м^3·К), коэффициентом теплопроводности (λ_i, Вт/м·К), объемной влажностью (W_i, доли единицы), теплотой замерзания воды L = 332·106 Дж/м^3 .

Внешние факторы, определяющие тепловое воздействие, характеризуются средней за лето температурой воздуха (T_n , °С), продолжительностью периода с положительными температурами (τ_s, с), средней за зиму температурой воздуха T_w , продолжительностью периода с отрицательными температурами воздуха (τ_w, с) либо среднегодовой температурой воздуха ($T_{ср}$,°С) и амплитудой температур воздуха (А·К).

Выражение для расчета величины оттаивания ξ в последнем (i = N) слое (т.е. в мерзлом ядре), полученное на основании метода эквивалентного слоя (Павлов,1975), имеет вид

$$\xi = \begin{cases} \sqrt{\dfrac{2 \cdot \lambda_N \cdot T_n \cdot (\tau_s - \tau_{N-1})}{c_N \cdot T_n + W_N \cdot L} + (\beta_N \cdot S_N)^2} - \beta_N \cdot S_N, & \text{если } \tau_{N-1} < \tau_s \\ 0, & \text{если } \tau_{N-1} \geq \tau_s \end{cases} \qquad (6.1.1)$$

Здесь

$$\tau_i = \tau_{i-1} + \frac{c_i \cdot T_n + W_i \cdot L}{2 \cdot \lambda_i \cdot T_n} \cdot h_i \cdot \left(h_i + \frac{W_i \cdot L \cdot S_i}{c_i \cdot T_n + W_i \cdot L} \right), \quad 1 \leq i \leq N\text{-}1, \ \tau_0 = 0$$

$$S_i = \sum_{j=0}^{i-1} \frac{\lambda_i}{\lambda_j} \cdot h_j \ , \quad 1 \leq i \leq N, \quad h_0 = \tau_0 = 0$$

$$\beta_i = \frac{W_i \cdot L}{c_i \cdot T_n + W_i \cdot L}, \quad 1 \leq i \leq N .$$

Определение необходимой толщины и места расположения теплоизолирующих слоев, включаемых в конструкцию, запроектированную по условию сохранения мерзлоты в мерзло-комковатом ядре насыпи, производится подбором по формулам (6.1.1) при условии $\xi \to 0$. Количество, толщина и теплофизические характеристики других слоев конструкции определяются иными соображениями (высотой насыпи, прочностью дорожной одежды, технологическими ограничениями и пр.) и предполагаются заданными.

Расчет теплоизоляции *откосных частей* дороги осуществляется, исходя из требования исключения возможности проникновения под бровку насыпи (и следовательно, в мерзло-комковатое ядро) бокового протаивания со стороны откоса.

При расчете рассматривается многослойная конструкция в направлении ортогональном поверхности откоса. Расчет осуществляется путем численного экспериментирования – подборки – по тем же формулам (6.1.1).

6.1.4. Расчет необходимой толщины плит теплоизолирующего слоя в насыпи для недопущения под ним морозобойного растрескивания грунтов мерзло-комковатого ядра производится подбором из условия недопущения превышения максимальной амплитуды температуры грунта под теплоизолирующим слоем (Amin) ее максимально допустимого значения по условию морозобойного растрескивания (Acr). Значения Acr могут определяться в ходе изысканий. Ориентировочные значения Acr для некоторых мерзлых грунтов: для песка $w \cong 0,15–0,22$ Acr = - 18–25 °С, для супесчано-суглинистого грунта $w \cong 0,25–0,45$ Acr = -14–20 °С, для мерзлых торфов $w \cong 3,5–5,0$ Acr = -12–15 °С; для мерзло-комковатого грунта Acr = -8 – -12 °С. Расчет Amin производится по формулам (см. ниже), где введены обозначения:

h_i – толщина i-го слоя в насыпи (i отсчитывается сверху вниз);

λF_i и cF_i – коэффициенты теплопроводности и теплоемкости i-го слоя;

T_k – период k-й гармоники колебаний температуры воздуха: годовой (k =1), 11- суточной (к=2), суточной (к=3);

$A0_k$ – полуамплитуды к-й гармоники колебаний температур воздуха, принимаются либо по данным изысканий, либо $A0_1$ (среднемесячная температура воздуха самого холодного месяца) – из Справочников по климату, $A0_2 = 4 \cdot К$, $A0_3 = 6 \cdot К$;

Amin0 – минимальная температура воздуха (абс. значение, °С).

N=7 i=1...N k=1...3

$$\omega_k = \frac{\pi}{T_k} \qquad \mu_{i,k} = \sqrt{\frac{\omega_k \cdot cF_{i+1}}{2 \cdot \lambda F_{i+1}}} \qquad m_i = \frac{\lambda F_i}{\lambda F_{i+1} \cdot h_i}$$

$$Amin_i = \sum_{k=1}^{3} \left[\left(\prod_{j=1}^{i} \frac{m_j}{m_j + \mu_{j,k}} \right) \cdot \left| A0_k \right| \right]$$

6.2. Особенности расчета на прочность

6.2.1. Проверка на прочность конструкции дорожной одежды с теплоизолирующим слоем над мерзло-комковатым ядром производится в соответствии с расчетами, предусмотренными ВСН 46–83 (для нежестких дорожных одежд) и ВСН 197-91 (для жестких дорожных одежд).

Учет влияния теплоизолирующего слоя на прочность конструкции дорожной одежды осуществляется путем приведения системы «подстилающий грунт + теплоизолирующий слой» к однородному слою с расчетным модулем упругости, равным общему модулю упругости на поверхности теплоизолирующего слоя ($E^T_{общ}$). Последний вычисляют по формуле

$$E^T_{общ} = \frac{E_г}{1 - \frac{2}{\pi}\left[arctg\left(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{h_п}{D_o}\right)\right]\left[1 - \frac{E_г}{E_п}\right]}, \qquad (6.2.1)$$

где $E_г$ – модуль упругости мерзло-комковатого грунта, подстилающего теплоизолирующий слой, МПа;

$E_п$ – модуль упругости плит теплоизолирующего слоя, МПа;

D_o – расчетный диаметр отпечатка колеса, см;

$h_п$ – толщина теплоизолирующего слоя, см.

Практическое определение величины расчетного модуля $E^T_{общ}$ осуществляют с помощью номограммы (рис. 6.2.1), построенной по зависимости (6.2.1).

6.2.2. При конструировании дорожных одежд со слоями из пенополистирольных плит следует учитывать, что, исходя из технологических особенностей их устройства, над ними должен быть устроен защитный слой из дискретного материала, предохраняющий его от воздействия построечной техники, а под ними – выравнивающий слой толщиной 5 – 10 см. Защитный слой необходимо устраивать из дренирующего материала.

6.2.3. Если между подстилающим мерзло-комковатым грунтом и слоем из теплоизолирующих плит имеется прослойка песчаного грунта (дренирующий слой) толщиной более 5 см, в выражение (6.2.1) вместо $E_г$ подставляется общий модуль на

поверхности песчаной прослойки, определяемый по обычной методике. При меньшей толщине песчаной прослойки допускается не учитывать ее влияния в расчете.

6.2.4. При применении в конструкции дорожной одежды теплоизоляционного слоя следует выполнить проверку этого слоя на прочность при одноосном сжатии. Проверка ведется по двум расчетным случаям:

– для условий эксплуатации дороги;

– для условий строительства дорожной одежды.

Проверка выполняется по зависимости

$$Z_т \geq Z_T^{доп}, \qquad (6.2.2)$$

где $Z_т$ – глубина расположения теплоизолирующего слоя от поверхности, к которой прилагается внешняя нагрузка (поверхность покрытия для условий эксплуатации или поверхность слоя засыпки при строительстве);

$Z_T^{доп}$ –допустимая глубина расположения теплоизолирующего слоя от поверхности по условию прочности этого слоя на одноосное сжатие.

Приближенно величину $Z_T^{доп}$ устанавливают по формуле

$$Z_T^{доп} = D\sqrt{\frac{к \cdot P - R}{2{,}5R}}\ , м, \qquad (6.2.3)$$

где D – расчетный диаметр отпечатка колеса расчетной нагрузки, м;

P – давление от расчетного колеса на поверхность покрытия или слоя засыпки, МПа;

R – прочность теплоизолирующих плит на одноосное сжатие при многократном нагружении, МПа;

$к$ – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,3.

В случае, если $Z_т < Z_T^{доп}$, нагрузка на глубине расположения теплоизолирующего слоя окажется больше его прочности. Тогда следует увеличить глубину расположения слоя.

6.2.5. При расчете на условия эксплуатации в качестве расчетной нагрузки принимается нагрузка, на которую рассчитывается вся дорожная конструкция.

При расчете на условия строительства параметры нагрузки выбираются в зависимости от применяемой техники и технологии устройства слоев, располагаемых над теплоизолирующим слоем.

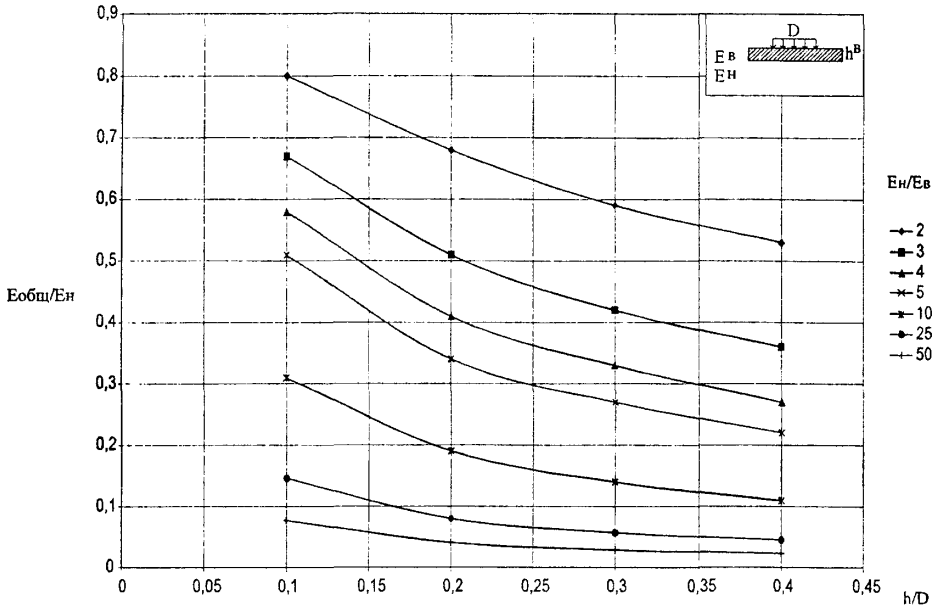


Рис. 6.2.1. Номограмма для расчета общего модуля Еобщ двухслойной системы "теплоизолятор – подстилающий грунт":
hв – толщина теплоизолирующих плит; Ев – модуль упругости

6.2.6. Во всех случаях рекомендуется располагать слой на глубине не менее 0,3 м от поверхности, к которой прикладывается нагрузка. В случае применения при строительстве техники на гусеничном ходу в формулу (6.2.3) вместо D следует подставить величину $2b$, равную ширине гусеницы, и получаемое по формуле значение Z_T^{don} увеличить на 20%.

7. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

7.1. Целью опытного строительства является оценка устойчивости и прочности разработанных конструкций, а также проверка правильности рекомендаций в области конструирования и расчета. Задачами наблюдений являются термо-влажностное поле в насыпи, сублимация льда, миграции паров влаги и их влияние на устойчивость насыпи. Для этого необходимы измерения осадки насыпи, температурного режима и влажности грунтов земляного полотна.

Основной состав наблюдений является стандартным и организуется согласно ВСН 84-89.

Осадку следует определять традиционными методами посредством закладки марок (маяков) в покрытии и на обочинах и периодического нивелирования (1 – 2 раза в месяц в теплое время года и в период промерзания). Нивелировочной основой является мерзлотный репер, устанавливаемый в придорожной полосе.

7.2. Наблюдения за температурой и влажностью мерзлокомковатого грунта осложняются тем, что повреждение гидроизолирующей оболочки может вызвать протаивание грунта насыпи.

Решить эту проблему возможно при помощи устройства постоянных скважин. Скважины следует оборудовать обсадными трубами, их края залить герметиком, а сверху прикрывать заглушкой. Температуру следует определять электрическим датчиком через каждые 0,5 м 1 раз в месяц. Скважины для определения температуры необходимо устраивать также за пределами дорожной конструкции.

7.3. Влажность и плотность рекомендуется измерять либо нейтронным влагоплотномером, либо электрометрическими способами, либо иным неразрушающим методом.

7.4. Образование сегрегационных прослоев льда на верхней границе вновь образовавшейся вечной мерзлоты следует контролировать бурением с отбором керна или шурфованием на глубину СТС. Контроль производится в августе, но не ранее чем через год после строительства.

7.5. Контроль за трещинами и эрозией осуществляется путем периодических визуальных обследований.

8. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕРЗЛО-КОМКОВАТЫХ ГРУНТОВ

8.1. Применение в земляном полотне разрыхленных мёрзлых (мёрзло-комковатых) грунтов, сохраняемых в мерзлом состоянии во время эксплуатации, не допускается в следующих случаях:

- на участках с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями: при температуре грунта выше -1°С и/или возможности обводнения и подтопления насыпи, когда отепляющее воздействие воды может вызвать непрогнозируемое протаивание мерзло-комковатого грунта в ядре насыпи;
- на участках пересечения с теплыми трубопроводами в зоне их отепляющего влияния.

8.2. Использование в земляном полотне разрыхленных мёрзлых (мерзло-комковатых) грунтов, сохраняемых в мерзлом состоянии во время эксплуатации, на пересечениях с дорогами, водотоками, холодными трубопроводами, иными линейными сооружениями и в местах водопропусков допускается при условии специального обоснования в рамках индивидуального проектирования.

8.3. Проектирование дорожных конструкций с применением разрыхленных мёрзлых (мерзло-комковатых) грунтов следует вести в расчете на сумму годовых летних градусо-часов температуры воздуха с 2%-ной обеспеченностью.

8.4. Эффективность применения конструкций земляного полотна с использованием мерзло-комковатого грунта и сохранением его в мерзлом состоянии во время эксплуатации заключается прежде всего в ускорении в 2-3 раза сроков ввода дороги в эксплуатацию и зависит от конкретных условий, в частности, от высоты насыпи.

В общем случае, чем выше насыпь, тем больший эффект может быть получен. При оценке эффективности для конкретной высоты насыпи учитывается стоимость:

- верхней части насыпи из сухомерзлого грунта;
- нижней части насыпи из мерзло-комковатого грунта;
- теплоизолирующей прослойки;
- гидроизоляции;
- теплоизоляции откосной части;
- устройства диафрагм внутри ядра;
- вентиляции.

При этом необходимо учитывать возможное влияние конструкции земляного полотна на стоимость дорожной одежды, а также осложнения при зимней технологии.

8.5. Целесообразность использования конструкций земляного полотна с мерзло-комковатым ядром следует оценивать при высоте насыпи не менее 1,5 м.

При общей оценке условий применения теплоизолирующих слоев следует учитывать, что для реализации I-го принципа в районе строительства высота насыпи из песка (без специальной теплозащиты) должна составлять не менее 3,0 м. Применение теплоизолирующих слоев при соответствующем обосновании их конструкции и глубины расположения от поверхности насыпи позволяет радикально уменьшить эту высоту.

Применение мерзло-комковатых грунтов может позволить дополнительно снизить стоимость конструкции. Количественная оценка эффективности должна осуществляться на основе технико-экономического анализа, учитывающего конструктивные и технологические, а также и организационные аспекты осуществления тех или иных технических решений.

ЛИТЕРАТУРА

ВСН 84-89 «Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты». М.: Стройиздат, 1990.

Геокриологические опасности. Тематический том. Под ред. Л.С. Гарагуля, Э.Д. Ершова. М.: Издательская фирма «Крук», 2000.

Геокриология СССР. Т. 1-5. Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989.

Общее мерзлотоведение. Под ред. В.А. Кудрявцева. М.: Изд-во МГУ, 1987.

Павлов А.В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. Якутск: Кн. изд-во. 1975. 302 с.

СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты зданий на вечномерзлых грунтах. М.: Стройиздат, 1989.

СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. М.: Стройиздат, 1986.

СНиП II-А. 6-72. Строительная климатология и геофизика. М.: Стройиздат, 1973.

Подписано в печать 28.11.2003 г. Формат бумаги 60х84 1/16.
Уч.-изд.л. 1,8. Печ.л. 2,0. Тираж 400. Изд. № 746. Ризография № 337.

Адрес ФГУП "ИНФОРМАВТОДОР":
129085, Москва, Звездный бульвар, д. 21, стр. 1
Тел. (095) 747-9100, 747-9105, тел./факс: 747-9113
e-mail: gost.e-ecolog.ru
Сайт: gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru