

«Утверждаю»  
Директор по науке  
Первый заместитель  
Генерального директора  
ФГУП «СОЮЗДОРНИИ»  
  
В.М. Юмашев  
« 15 » 22 мая 2005 г.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**по расчетам и технологии устройства теплоизоляционных  
слоев дорожных конструкций из пенополистирольных плит  
«ПЕНОПЛЭКС» в районах распространения вечномерзлых грунтов**

(издание 2-е, переработанное и дополненное)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Предисловие .....	3
1. Общие положения .....	4
2. Принципы проектирования и условия применения дорожных конструкций на вечной мерзлоте .....	5
3. Требования к грунтам земляного полотна.....	6
4. Условия применения плит «ПЕНОПЛЭКС» в качестве теплоизолирующих слоёв дорожной конструкции в районах распространения ВМГ.....	7
5. Общая методика назначения дорожной конструкции с теплоизолирующим слоем «ПЕНОПЛЭКС» на ВМГ.....	8
6. Принципиальная схема дорожной конструкции на ВМГ с теплоизолирующим слоем из плит «ПЕНОПЛЭКС».....	10
7. Базовые конструкции с теплоизолирующими слоями из плит «ПЕНОПЛЭКС» .....	12
8. Расчёты дорожных конструкций с теплоизолирующими слоями из плит «ПЕНОПЛЭКС»	
8.1. Теплотехнические расчёты .....	20
8.2. Проверка на прочность теплоизоляционного слоя из плит «ПЕНОПЛЭКС» .....	23
8.3. Особенности расчёта на прочность дорожной конструкции с теплоизолирующим слоем из плит «ПЕНОПЛЭКС» .....	24
9. Особенности технологии и организации работ по устройству дорожных конструкций с теплоизолирующими слоями из плит «ПЕНОПЛЭКС» в зоне вечной мерзлоты .....	26
Литература .....	27
Приложение 1. Номенклатура, механические и теплофизические свойства плит «ПЕНОПЛЭКС»... ..	28
Приложение 2. Расчётные значения теплофизических характеристик материалов и грунтов .....	29
Приложение 3. Определение необходимой толщины теплоизоляционного слоя из материала «ПЕНОПЛЭКС»... ..	31
Приложение 4. Расчет необходимой толщины плит «ПЕНОПЛЭКС» по условию недопущения образования под ними трещин в слоистом земляном полотне.....	38
Приложение 5. Технологическая карта .....	40

## ПРЕДИСЛОВИЕ

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 и строительстве автомобильных дорог на вечномёрзлых грунтах с применением теплоизолирующих слоев из экструзионного пенополистирола «ПЕНОПЛЭКС».

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-A.6-72 «Строительная климатология и геофизика», М., Стройиздат, 1973; СНиП 2.02.04-88 «Основания и фундаменты зданий на вечномёрзлых грунтах», М., Стройиздат, 1990; СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги», М., Стройиздат, 1986.

Методические рекомендации разработали:  
доктор технических наук, профессор В.Д. Казарновский,  
доктор геолого-минералогических наук, профессор С.Е. Гречищев,  
кандидат технических наук Е.С. Пшеничникова,  
кандидат геолого-минералогических наук Ю.Б. Шешин,  
при участии инженеров М.Л. Попова, Н.И. Черновой, научного сотрудника О.В. Гречищевой, кандидата технических наук А. В. Павлова и технического специалиста ООО «Пеноплэкс СПб» А.Н. Никишова.

С помощью предлагаемых разработанных базовых конструкций земляного полотна обеспечивается сохранность грунтов основания насыпей автомобильных дорог в мерзлом состоянии, т.е. строительство по первому принципу. Методические рекомендации не распространяются на заливаемые территории и на пересечения дорог с водотоками и линейными сооружениями.

Реализация настоящих Методических рекомендаций при проектировании и строительстве может осуществляться при научном сопровождении СОЮЗДОРНИИ, а также при участии фирмы-изготовителя плит – ООО «Пеноплэкс СПб». При этом могут предусматриваться наблюдения за построенными конструкциями в процессе их эксплуатации с целью накопления опыта. Замечания, пожелания и возникающие вопросы по «Методическим рекомендациям» просим направлять по адресу:

143900 г. Балашиха-6, Моск. обл.,  
ш. Энтузиастов, 79, СОЮЗДОРНИИ  
факс (095)5211892  
эл.почта <[cryodor@mail.ru](mailto:cryodor@mail.ru)>

## 1. Общие положения

1.1. Теплоизолирующие слои из плит «ПЕНОПЛЭКС» в конструкциях земляного полотна автомобильных дорог на участках с вечной мерзлотой рекомендуется применять для реализации принципа сохранения грунта в основании насыпей в мёрзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации дорог [4], а на талых участках, сложенных пучинистыми грунтами, в зонах островной, прерывистой мерзлоты и мёрзлых перелетков – для предотвращения многолетнего промерзания и сопровождающего его многолетнего пучения грунтов основания насыпи.

1.2. Применение таких решений может оправдываться как на дорогах общей сети, так и на различного рода ведомственных (в частности - промышленных) дорогах, а также на временных, спецдорогах и других объектах.

1.3. *Эффект от применения плит «ПЕНОПЛЭКС» в районах распространения вечномёрзлых грунтов может быть получен за счёт:*

- *уменьшения объёмов качественных привозных грунтов при сооружении земляного полотна с сохранением мерзлоты за счёт возможности уменьшения рабочих отметок насыпей до величины, регламентируемой условием снегонезаносимости;*
- *уменьшения объёмов качественных привозных грунтов за счёт открывающейся возможности использования в нижней части насыпи местных грунтов, в том числе мерзлокомковатых переувлажнённых глинистых грунтов с сохранением их в мёрзлом состоянии с помощью плит «ПЕНОПЛЭКС»;*
- *сокращения (либо исключения) объёмов замены льдонасыщенных вечномёрзлых грунтов в основании дорожной одежды в выемках, либо в нулевых отметках;*
- *сокращения сроков строительства;*
- *снижения затрат на уплотнение нижней части насыпей, в которых используются мёрзлокомковатые грунты, мёрзлое состояние которых сохраняется с помощью плит «ПЕНОПЛЭКС»;*
- *уменьшения затрат на ремонт автодороги при исключении процесса морозобойного растрескивания мёрзлых грунтов путём снижения амплитуды зимней температуры грунта под плитами до допустимого значения;*
- *уменьшения затрат на ремонт дорожных конструкций вследствие исключения новообразования вечной мерзлоты и вызываемого этим процессом многолетнего пучения в грунтах основания насыпи, если эти грунты пучинистые, на участках с немёрзлыми (до глубины не менее 6 м) грунтами в зонах островного и прерывистого распространения многолетнемёрзлых грунтов и в зоне перелетков;*
- *повышения надёжности и долговечности дорожных конструкций, устраиваемых с сохранением вечной мерзлоты;*
- *снижения экологического ущерба при строительстве дорог в зоне вечной мерзлоты;*

1.4 Конструктивные решения с теплоизолирующими плитами «ПЕНОПЛЭКС» назначаются на основе базовых конструкций и с учётом специальных теплофизических расчётов, принципы которых изложены в Главе 8. Уточнённые расчёты выполняются с помощью специальных компьютерных программ (см. дискету).

## 2. Принципы проектирования и условия применения дорожных конструкций на вечной мерзлоте

2.1. Применяемые в настоящее время методы проектирования дорожных насыпей в зоне вечной мерзлоты сводятся к трём основным принципам.

*Первый принцип* проектирования дорожных конструкций предусматривает обеспечение поднятия верхнего горизонта вечной мерзлоты не ниже подошвы насыпи и сохранение его на этом уровне в течение всего периода эксплуатации дороги.

*Второй принцип* проектирования предусматривает допущение оттаивания грунтов ниже подошвы насыпи на расчётную глубину в период эксплуатации дороги с учётом допустимой осадки основания в зависимости от типа покрытия.

*Третий принцип* проектирования предусматривает предварительное оттаивание и осушение мёрзлых грунтов основания.

Наибольшее применение при строительстве автомобильных дорог на вечной мерзлоте имеют два принципа – первый и второй.

2.2. Выбор принципа проектирования и строительства дорог на ВМГ осуществляется согласно [4], на основе технико-экономического сравнения вариантов, исходя из мерзлотно-грунтовых и климатических условий участка проложения трассы и с учётом наличия специальных материалов (геотекстильных, теплоизоляционных и т. п.), а также с учётом наличия качественных грунтов, пригодных для возведения насыпей.

2.3. Для реализации первого принципа используют следующие конструктивные способы сохранения мерзлоты :

- устройство из обычных грунтов насыпей высотой, обеспечивающей сохранение вечной мерзлоты в основании насыпи; требуемую для этого высоту насыпи определяют расчётом согласно [4] или специальными теплотехническими расчётами;
- применение устройств искусственного охлаждения грунтов насыпи и её основания (СОУ, термосифонов, вентиляционных каналов и др.);
- *устройство в земляном полотне искусственных или естественных теплоизоляционных слоёв, причём в качестве искусственных теплоизоляторов пригодны только экструзионные пенополистиролы (например «ПЕНОПЛЭКС»), т. к. обычные (беспрессовые шариковые) пенопласты имеют гораздо более низкие физические и теплотехнические характеристики, и в подобных условиях теряют свою функциональность в течение нескольких лет, тогда как экструзионные пенополистиролы в данных условиях служат многие десятилетия, что подтверждено соответствующими лабораторными испытаниями и 60-летним зарубежным опытом применения аналогичных материалов.*

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

**Во многих случаях применение конструкций с теплоизолирующими слоями из плит «ПЕНОПЛЭКС» оказывается по технико-экономическим показателям наиболее эффективным по сравнению с традиционными конструкциями.**

### 3. Требования к грунтам земляного полотна

**3.1.** Грунты для возведения земляного полотна рекомендуется применять согласно с [4].

Однако следует иметь ввиду, что при использовании искусственных строительных материалов в дорожных конструкциях (например «ПЕНОПЛЭКС») и в зависимости от конструктивных решений с применением этих материалов появляется возможность снизить требования в отношении содержания пылеватых и глинистых частиц, допустимой относительной влажности и коэффициента уплотнения грунтов нижней части насыпи, мёрзлое состояние которых (в т.ч. и мерзло-комковатых) сохраняется с помощью плит «ПЕНОПЛЭКС» (при соответствующих технических решениях) [8] .

## **4. Условия применения плит «ПЕНОПЛЭКС» в качестве теплоизолирующих слоёв дорожной конструкции в районах распространения ВМГ**

**4.1.** Теплоизоляционные плиты «ПЕНОПЛЭКС» должны соответствовать принятым ТУ и иметь все необходимые заключения и сертификаты соответствия. Номенклатура, механические и теплофизические показатели плит «ПЕНОПЛЭКС» приводятся в Приложении 1 данных Рекомендаций.

**4.2.** Применение теплоизоляционных слоёв «ПЕНОПЛЭКС» в районах распространения ВМГ должно решать перечисленные в п.1.3 следующие задачи (или хотя бы некоторые из них).

**4.3.** Конструкции с применением теплоизоляционных плит «ПЕНОПЛЭКС» должны соответствовать принципиальной схеме, показанной на рис. 1, и уточняться в соответствии с базовыми конструкциями, а при необходимости и дорабатываться под конкретные объекты (условия, требования).

Стоит отметить, что хорошие перспективные эксплуатационные показатели автодорог на ВМГ достигаются с помощью комплексного применения материала «ПЕНОПЛЭКС» с геотекстильными (армирующими), природными (теплоизолирующими), плёночными (гидроизоляционными) материалами и искусственными охлаждающими конструкциями.

**4.4.** Параметры вариантов конструкций должны обосновываться теплотехническими и другими необходимыми расчётами.

## 5. Общая методика назначения дорожной конструкции с теплоизолирующим слоем «ПЕНОПЛЭКС» на ВМГ

5.1. Исходной информацией для назначения дорожной конструкции с теплоизолирующим слоем «ПЕНОПЛЭКС» служат:

- дорожно-климатическая зона (подзона), определяемая по карте районирования [4].
- требуемая высота насыпи по условию снегонезаносимости [4];
- грунто-гидрологические, мерзлотные и климатические характеристики местности проложения трассы.

5.2. 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 учётом требований действующих СНиП, ландшафтных комплексов и мерзотно-грунтовых условий, обеспечивающее получение решения близкого к оптимальному с точки зрения реализации принятого принципа проектирования с учетом возможных затрат на строительство и эксплуатацию автодороги;
- построение продольного профиля, отвечающего требованиям СНиП, к дороге соответствующей технической категории; **при построении продольного профиля в качестве руководящей рабочей отметки земляного полотна принимается высота насыпи, отвечающая условию снегонезаносимости для данного района;**
- выделение по построенному продольному профилю участков, высота насыпи на которых обеспечивает поднятие и сохранение горизонта вечной мерзлоты на требуемом уровне без специальных мероприятий в течение всего срока службы дороги;
- выделение на продольном профиле участков, где высота насыпи не обеспечивает поднятия и сохранения вечной мерзлоты на требуемом уровне (рабочая отметка принята по условию снегонезаносимости), а также выемок; на этих участках предусматривается устройство конструкций с теплоизолирующими слоями;
- выделение на продольном профиле переходных участков, которые располагаются между двумя вышеописанными участками; на переходных участках теплозащитный слой устраивается либо уменьшенной толщины, либо применяется так называемая «шахматная» раскладка плит утеплителя (рис.П.б.3.);
- выбор конструктивного решения, который осуществляется на основе разработанных базовых конструкций (рис. 2, 3, 4, 5, 6, 7.), а при необходимости может быть доработан (переработан) самостоятельно проектными организациями под конкретные объекты (условия, требования);

- выполнение расчётов, уточняющих требуемую толщину теплоизолирующего слоя с учетом конкретных условий (высоты и конструкции насыпи, грунтов, конструкции дорожной одежды, климатических условий местности, сроков строительства и т.п.) (см. дискету и Приложение 3 настоящих Рекомендаций).

**5.3.** После выполнения теплотехнических расчётов и определения необходимой толщины теплоизолирующего слоя принятая ранее конструкция дорожной одежды должна быть проверена на прочность с учётом принятой толщины теплоизолятора (Глава 8).

## **6. Принципиальная схема дорожной конструкции на ВМГ с теплоизолирующим слоем из плит «ПЕНОПЛЭКС»**

**6.1.** В качестве принципиальных вариантов конструктивных решений земляного полотна с теплоизоляционным слоем из плит «ПЕНОПЛЭКС» может предусматриваться конструкция, представленная на рисунке 1. При этом теплоизолирующий слой может находиться как в основании насыпи, так и в её теле, либо в основании дорожной одежды.

Однако, необходимо отметить, что теплотехнические показатели центральной части конструкции тем лучше, чем ближе к дорожной одежде находится вышеозначенный теплоизолятор. Но одновременно с выполнением этого условия ухудшаются (в плане теплотехники) условия работы откосных частей конструкции.

С целью решения данного противоречия рекомендуется применять комплексные решения, выбираемые на основе нижеприводимых базовых конструкций (Глава 7).

**6.2.** В случае, если необходимая для тепловой защиты насыпи толщина слоя из плит "ПЕНОПЛЭКС" по расчету оказывается большой и неэкономичной, можно применять двухслойный теплоизолятор – верхний слой из более тонких плит "ПЕНОПЛЭКС", нижний слой из материала с большой эффективной теплоемкостью – влажный суглинок и др. (см [9]). Это позволяет снизить толщину слоя из плит "ПЕНОПЛЭКС" до экономически приемлемого значения. Принципиальные схемы базовых конструкций при двухслойном теплоизоляторе сохраняются теми же, что упомянуты выше в п.6.1 и показаны на рис.1–7. Достаточная толщина слоев двухслойного теплоизолятора рассчитывается подбором по методике, описанной в гл.8 и в Приложении 3.



**Рис. 1.** Принципиальная схема дорожной конструкции на ВМГ с теплоизолирующим слоем из плит «ПЕНОПЛЭКС»

## 7. Базовые конструкции с теплоизолирующими слоями из плит «ПЕНОПЛЭКС»

### 7.1. Тип 1 :

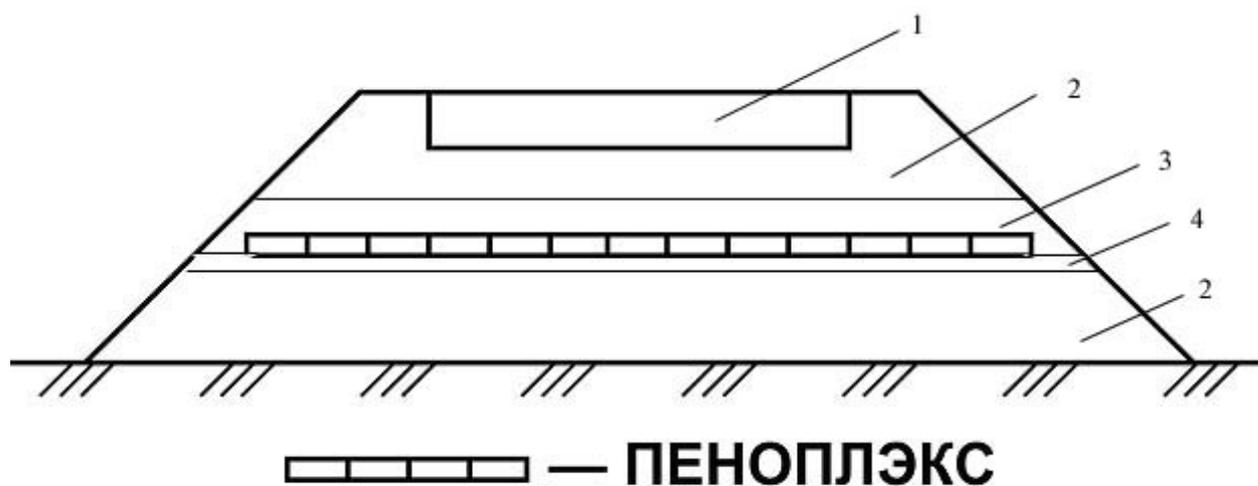


- 1 – дорожная одежда
- 2 – грунт насыпи
- 3 – защитный слой
- 4 – выравнивающий слой

**Рис. 2.**

Данная конструкция применяется, когда требуется сохранить в мерзлом состоянии основание насыпи. Она обеспечивает термоизоляцию грунтов основания центральной части и под откосными частями насыпи земляного полотна одновременно, но характеризуется недостаточным использованием потенциала теплоизолятора, т.к. он расположен в подошве насыпи. В то же время данная конструкция характеризуется технологичностью и простотой в организации работ. Расчет конструкции следует производить согласно рекомендациям п.8.1.5.

## 7.2. Тип 2 :

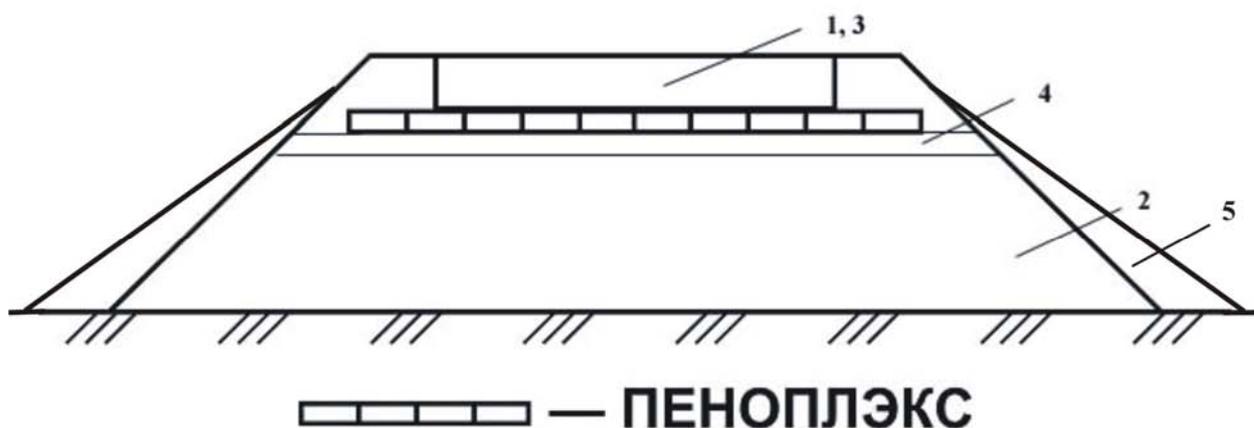


- 1 – дорожная одежда
- 2 – грунт насыпи
- 3 – защитный слой
- 4 – выравнивающий слой

**Рис. 3.**

Данная конструкция характеризуется возможностью использования под теплоизолятором грунта, который сохраняется в мёрзлом состоянии необходимой толщиной теплоизолятора, обоснованной соответствующими теплотехническими расчётами [8]. Она обеспечивает термоизоляцию центральной части насыпи при среднем использовании потенциала теплоизолятора (поскольку теплоизолятор находится в теле земляного полотна). При применении конструкции Тип 2 следует предусматривать теплоизолирующие бермы или призмы, расположенные на уровне теплоизолирующего слоя. Бермы могут быть выполнены из торфопесчаной смеси или какого-нибудь другого теплоизолирующего материала.

## 7.3. Тип 3:

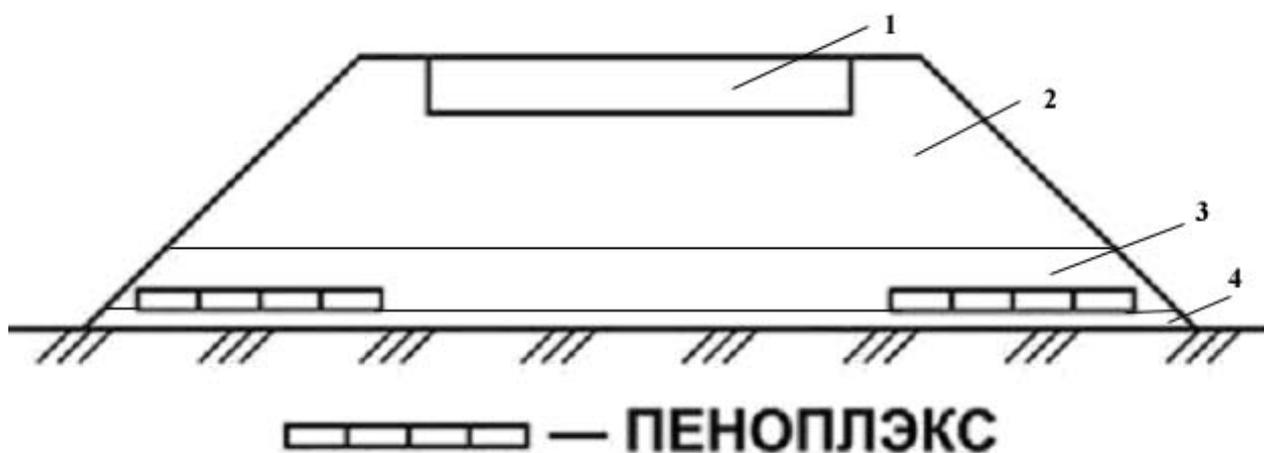


- 1 – дорожная одежда
- 2 – грунт насыпи
- 3 – защитный слой
- 4 – выравнивающий слой
- 5 – присыпка

**Рис. 4.**

Данная конструкция применяется для сохранения в мерзлом состоянии нижней части и основания насыпи. Она характеризуется наиболее полным использованием потенциала теплоизолятора (поскольку теплоизолятор находится в верхней части насыпи), и максимально технологична, однако не обеспечивает термоизоляции грунтов основания под откосными частями насыпи. Для их термоизоляции могут применяться теплозащитные присыпки из мохоторфа или торфопесчаной смеси, толщину которых следует определять теплотехническим расчетом. Роль защитного слоя (3) выполняет грунт основания дорожной одежды.

## 7.4. Тип 4 :

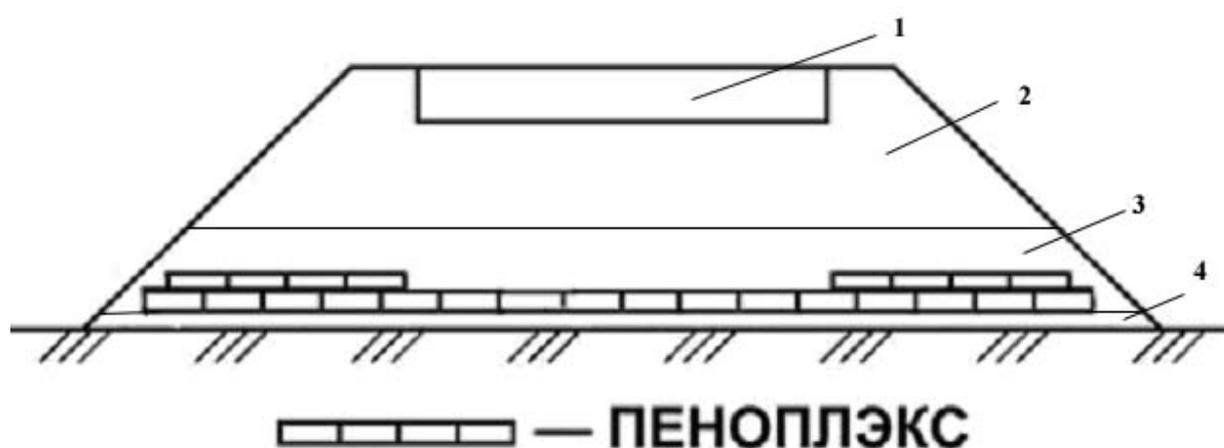


- 1 – дорожная одежда
- 2 – грунт насыпи
- 3 – защитный слой
- 4 – выравнивающий слой

**Рис. 5.**

Данное техническое решение применяется в том случае, когда общая высота дорожной конструкции без теплоизоляции обеспечивает принятый (I или II-ой) принцип проектирования везде кроме откосных частей. Конструкция создает дополнительную термоизоляцию основания под откосными частями насыпи (как известно, разрушение дорожных конструкций на ВМГ во многих случаях начинается именно с них). Расчет конструкции следует производить согласно рекомендациям п. 8.1.5

## 7.5. Тип 5 :

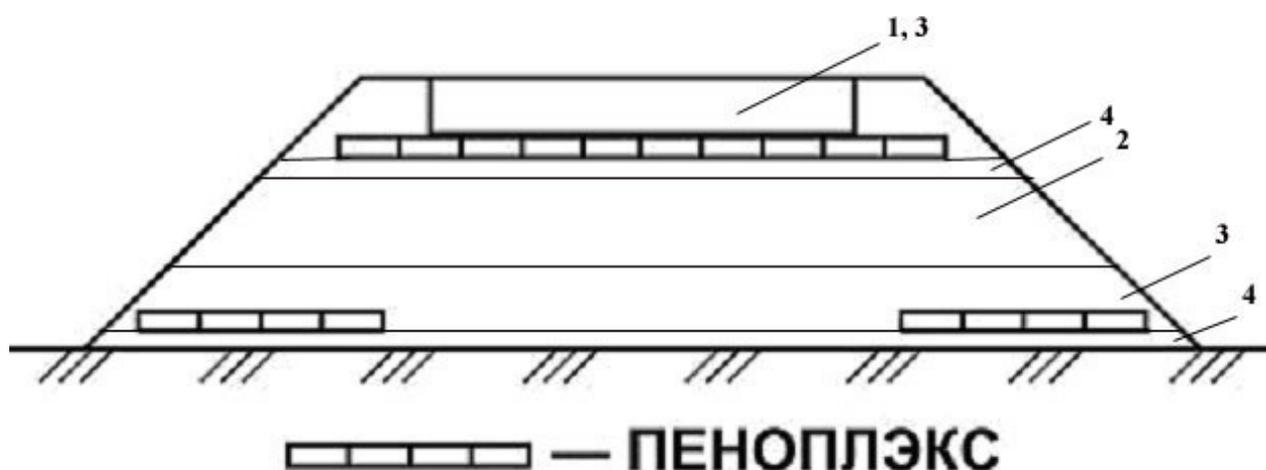


- 1 – дорожная одежда
- 2 – грунт насыпи
- 3 – защитный слой
- 4 – выравнивающий слой

**Рис. 6.**

Данное техническое решение применяется с целью термоизоляции грунтов основания центральной части насыпи и усиленной термоизоляции грунтов под откосными частями (поскольку разрушение насыпи на ВМГ во многих случаях начинается именно с них). При этом толщину дополнительного слоя из плит «ПЕНОПЛЭКС» для усиленной термоизоляции грунтов основания под откосными частями следует принимать из расчета согласно рекомендациям п.8.1.5. Данное техническое решение технологично в организации и производстве работ.

## 7.6. Тип 6 :



- 1 – дорожная одежда
- 2 – грунт насыпи
- 3 – защитный слой
- 4 – выравнивающий слой

**Рис. 7.**

Данное решение является наиболее эффективным, поскольку теплоизолятор, находящийся в верхней части насыпи, используется с достижением максимального термоизолирующего эффекта, и грунт основания под откосами насыпи также является теплозащищённым. Расчет конструкции следует производить согласно рекомендациям п.8.1.5. Роль защитного слоя (3) для верхнего слоя «ПЕНОПЛЭКСА» выполняет грунт основания дорожной одежды.

**7.7.** Рекомендуется, с целью усиления термоизоляции откосов насыпей, сочетать применение материала «ПЕНОПЛЭКС» с природными теплоизоляторами (мох, торф и т.п.), выполняемыми в виде теплозащитных присыпок или берм.

**7.8.** С целью повышения долговечности дорожных конструкций на ВМГ, рекомендуется применение «ПЕНОПЛЭКСа» совместно с армирующими геотекстильными материалами.

**7.9.** Для увеличения толщины слоя грунта, сохраняемого под теплоизолятором в мерзлом состоянии эффективно совместно с «ПЕНОПЛЭКС» применить СОУ.

**7.10.** Теплоизолирующий слой из плит «ПЕНОПЛЭКС» должен иметь поперечный двухскатный профиль для исключения скапливания над ним влаги.

**7.11.** Для ориентировочной оценки районов РФ по преимущественной применимости того или иного типа конструкций рекомендуется карта-схема районирования зоны вечной мерзлоты РФ по условиям применения теплоизолирующих плит в конструкциях насыпей автомобильных дорог (рис.8).

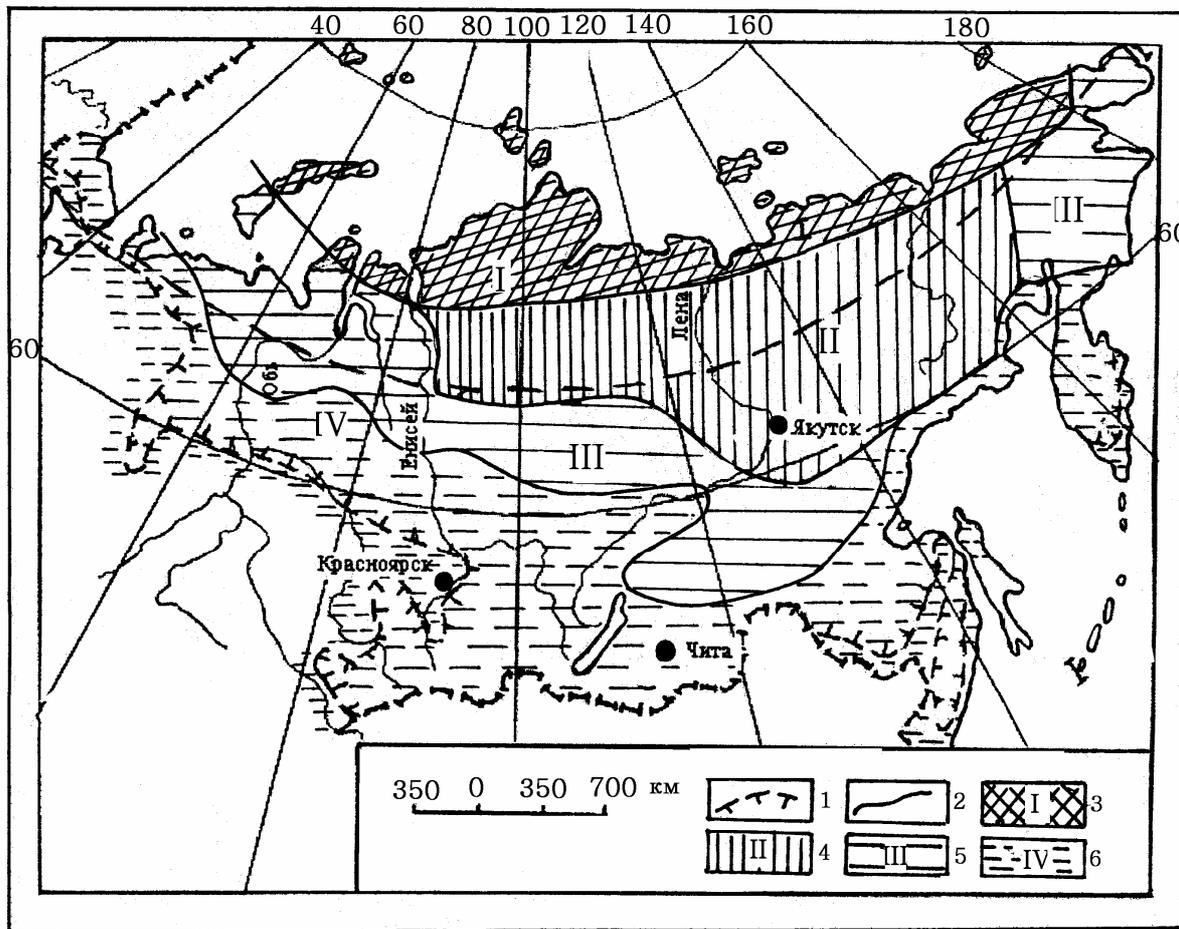


Рис.8. Карта-схема районирования зоны вечной мерзлоты по условиям преимущественного применения теплоизолирующих плит «ПЕНОПЛЭКС» (Типы конструкций насыпей с плитами «ПЕНОПЛЭКС» см. пп. 7.1–7.6)

- 1 – южная граница распространения вечной мерзлоты;
- 2 – границы выделенных районов;
- 3 – район I: для сохранения вечной мерзлоты в насыпях менее 1 м и для защиты от криогенного растрескивания грунтов насыпей рекомендуется конструкция 3-го типа; для насыпей с мерзло-комковатым ядром – конструкция 2-го типа;
- 4 – район II: для сохранения вечной мерзлоты и предотвращения растрескивания насыпей рекомендуются в основном конструкции насыпей 3-го, 4-го и 6-го типов; для насыпей с мерзло-комковатым ядром – конструкция 2-го типа;
- 5 – район III, для сохранения мерзлоты в основании насыпи рекомендуется устройство насыпей 3-го и 6-го типов; для насыпей высотой менее 1 м рекомендуется применение конструкции насыпи 3-го типа;
- 6 – район IV, где для сохранения вечной мерзлоты в основании насыпи (как суглинистого, так и торфяного) рекомендуется устройство насыпей 3-го и 6-го типов; для предотвращения новообразования вечной мерзлоты под насыпью на талых участках рекомендуется применение конструкций насыпи 1-го, 4-го и 5-го типов.

## 8. Расчеты дорожных конструкций с теплоизолирующими слоями из плит «ПЕНОПЛЭКС»

### 8.1. Теплотехнические расчеты

**8.1.1.** Теплотехнические расчеты насыпей, в конструкции которых применяются теплоизолирующие плиты «ПЕНОПЛЭКС», производятся для следующих целей:

а) выбора толщины плит «ПЕНОПЛЭКС» и общей конструкции насыпи, обеспечивающих многолетнее непротаивание (или ограниченное допустимое протаивание) мерзлых грунтов в основании насыпи (строительство по I или II принципу) при условии равенства ее высоты величине, допустимой по условию снегонезаносимости;

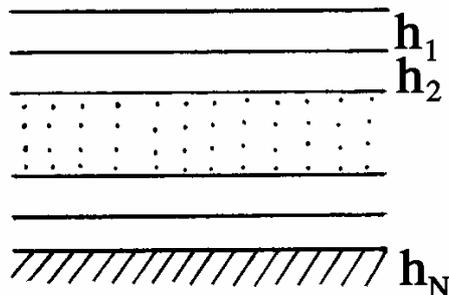
б) то же, обеспечивающих недопущение многолетнего промерзания (и связанного с этим многолетнего пучения) в основании насыпи, сооружаемой на талых участках в зонах островной и прерывистой мерзлоты и в зоне мерзлых перелетков;

в) выбора толщины плит «ПЕНОПЛЭКС» с целью уменьшения под ними амплитуды отрицательных температур до допустимого по условиям недопущения морозобойного растрескивания грунтов земляного полотна под плитами «ПЕНОПЛЭКС».

**8.1.2.** Теплофизические расчеты конструкций насыпей могут производиться с использованием двумерных 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.

**8.1.3.** Расчет толщины теплоизолирующего слоя, необходимой для исключения последующего летнего протаивания мерзлоты под насыпью, производится как составная часть теплотехнического расчета многослойной конструкции.

**8.1.4.** Для расчета *центральной части* используется расчетная схема, представленная на рис.9 [7]. Схема 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 до  $i = N$  для первого под насыпью слоя грунта основания.



**Рис. 9.** Расчетная схема для центральной части дорожной конструкции.

Каждый  $i$ -ый слой характеризуется толщиной ( $h_i$ , м), объемной теплоемкостью ( $c_i$ , Дж/м<sup>3</sup>·°C), коэффициентом теплопроводности ( $\lambda_i$ , Вт/м·°C), объемной влажностью ( $W_i$ , доли единицы). Теплота замерзания воды  $L=332 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>3</sup>.

Внешние факторы, определяющие тепловое воздействие, характеризуются средней за лето температурой воздуха ( $t_{us}$ , °C), продолжительностью периода с положительными температурами ( $\tau_s$ , сек), средней за зиму температурой воздуха  $t_{uw}$ , продолжительностью периода с отрицательными температурами воздуха ( $\tau_w$ , сек), минимальной высотой снегонезаносимой насыпи  $H_{snl}$  (м). Либо среднегодовой температурой воздуха  $T_{av}$  и амплитудой среднемесячных температур воздуха ( $A$ , °C).

Выражение для расчета величины оттаивания в последнем ( $i = N$ ) слое в пакете, полученное на основании метода эквивалентного слоя, имеет вид:

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

Здесь:

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

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

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

Определение необходимой толщины hP слоя «ПЕНОПЛЭКСа» и места расположения (по вертикали) слоя из плит «ПЕНОПЛЭКС», включаемого в конструкцию, запроектированную по условию сохранения мерзлоты в основании насыпи, производится подбором по формулам (1) при условии  $\xi \rightarrow 0$  либо  $\xi \rightarrow \xi_{доп}$ , где  $\xi_{доп}$  – допустимая величина оттаивания под насыпью. Количество и толщина других слоев конструкции определяются иными соображениями (высотой насыпи, прочностью дорожной одежды, технологическими ограничениями и пр.) и предполагаются заданными.

Для вычислений может быть использованы программа «Пеноплэкс 1а», составленная в стандартном программном продукте Маткад 2000 (см. дискету и Приложение 3)..

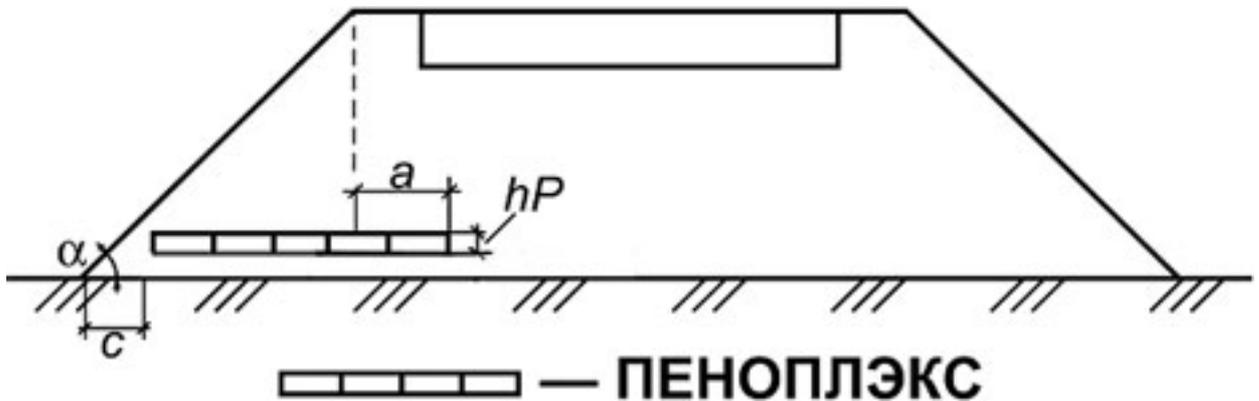
**8.1.5.** Параметры конструкции при расположении материала «ПЕНОПЛЭКС» под откосными частями (рис. 10.) назначаются следующим образом:

$tg \alpha = 1:2$  (или согласно проекту);

$c$  – не менее 0,5 м, так чтобы по нормали к откосу толщина защитного слоя была 0,2 ÷ 0,3 м [7];

$a = 0.5 H_{насыпи}$ ;

$hP$  – принимается по расчету так, чтобы расчетная глубина протаивания грунта под серединой откоса была меньше расчетной глубины промерзания при условии сохранения на откосе снега естественной толщины (при сохранении вечной мерзлоты в основании насыпи) либо наоборот – больше (при недопущении промерзания под насыпью на участках, где вечная мерзлота отсутствует).



**Рис. 10.**

**8.1.6.** При устройстве теплоизолирующего слоя из плит «ПЕНОПЛЭКС» должны предусматриваться выравнивающий и защитный слои.

Выравнивающий слой должен располагаться под слоем из плит «ПЕНОПЛЭКС» и назначаться толщиной не менее 5 см.

Защитный слой должен располагаться непосредственно над слоем из плит «ПЕНОПЛЭКС» и назначаться толщиной не менее 30 см в плотном теле согласно расчёту на прочность (п. 8.2.).

**8.1.7.** Теплофизические свойства грунтов основания принимаются согласно СНиП 2.02.04-88 (см. табл. П.2.1. Приложения 2) или по материалам изысканий.

Климатические данные принимаются согласно СНиП П-А.6 –72 или по материалам изысканий.

Теплофизические свойства материалов слоев дорожной конструкции сведены в таблицу П.2.2. (Приложение 2).

Минимальная высота насыпи по условию снегонезаносимости  $H_{snl}$  принимается на основании расчетов по [4].

**8.1.8.** Компьютерная программа «Пеноплэкс 1а» вычисляет общее промерзание/протаивание дорожной конструкции в зависимости от расположения теплоизолирующего слоя и его толщины (см. дискету), а также даёт возможность проследить процесс промерзания/протаивания по каждому конструктивному слою в отдельности и рассчитывает несколько дополнительных параметров (см. Приложение 3 и дискету).

**8.1.9.** Расчет необходимой толщины слоя из плит «ПЕНОПЛЭКС» для недопущения под ним морозобойного растрескивания грунтов земляного полотна производится по программе «Пенокрэк», реализуемой в стандартном программном продукте Маткад 2000 (см. Приложение 4 и дискету).

## 8.2. Проверка на прочность теплоизоляционного слоя из плит «ПЕНОПЛЭКС»

8.2.1. При применении в дорожной конструкции теплоизоляционного слоя из плит «ПЕНОПЛЭКС» следует выполнить проверку этого слоя на прочность. Проверка ведется по двум расчетным случаям:

- для условий эксплуатации дороги;
- для условий строительства дорожной одежды.

Проверка ведется по зависимости:

$$Z_T \geq Z_T^{\text{don}}, \quad (2)$$

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

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

Приближенно величину  $Z_T^{\text{don}}$  устанавливают по формуле:

$$Z_T^{\text{don}} = D \sqrt{\frac{\kappa \cdot P - R}{2,5R}}, \text{ м} \quad (3)$$

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

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

$R$  – прочность плит «ПЕНОПЛЭКС» на одноосное сжатие, МПа;

$\kappa$  – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,3.

В случае, если  $Z_T < Z_T^{\text{don}}$ , нагрузка на глубине расположения теплоизолирующего слоя окажется больше прочности плиты «ПЕНОПЛЭКС» следует увеличить глубину расположения слоя.

8.2.2. 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 слоем из плит «ПЕНОПЛЭКС».

8.2.3. Во всех случаях рекомендуется располагать слой на глубине не менее 0,30 м от поверхности, к которой прикладывается нагрузка.

В случае применения при строительстве техники на гусеничном ходу в формулу (3) вместо  $D$  следует подставить величину  $2b$ , равную ширине гусеницы, а получаемое по формуле значение  $Z_T^{\text{don}}$  увеличить на 20%.

### 8.3. Особенности расчёта на прочность дорожной конструкции с теплоизолирующим слоем из плит «ПЕНОПЛЭКС»

**8.3.1.** Проверка на прочность конструкции дорожной одежды с теплоизолирующим слоем из плит «ПЕНОПЛЭКС» производится в соответствии с расчетами, предусмотренными ОДН 218.046-00 (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 + слой из плит «ПЕНОПЛЭКС» к однородному слою с расчетным модулем упругости, равным общему модулю упругости на поверхности слоя из плит «ПЕНОПЛЭКС» ( $E_{общ}^T$ ). Последний вычисляются по формуле:

$$E_{общ}^T = \frac{E_z}{1 - \frac{2}{\pi} \left[ \arctg\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{h_n}{D_o}\right) \right] \left[ 1 - \frac{E_z}{E_n} \right]}, \quad (4)$$

где:  $E_z$  – модуль упругости грунта, подстилающего теплоизолирующий слой, МПа, (при слоистой толще принимается общий модуль упругости на поверхности толщи под плитами «ПЕНОПЛЭКС», МПа);

$E_n$  – модуль упругости плит «ПЕНОПЛЭКС», МПа;

$D_o$  – расчетный диаметр отпечатка колеса, см;

$h_n$  – толщина плит «ПЕНОПЛЭКС», см.

Практическое определение величины расчетного модуля  $E_{общ}^T$  осуществляют с помощью номограммы (рис. 11), построенной по зависимости (4).

**8.3.2.** При конструировании дорожных одежд со слоями из плит «ПЕНОПЛЭКС» следует учитывать, что, исходя из технологических особенностей их устройства, над плитами «ПЕНОПЛЭКС» должен быть устроен защитный слой, предохраняющий плиты от воздействия построечной техники, а под плитами «ПЕНОПЛЭКС» – выравнивающий слой толщиной не менее 5 см. Защитный слой необходимо устраивать из дренирующего материала.

**8.3.3.** Если между подстилающим грунтом и слоем из плит «ПЕНОПЛЭКС» имеется прослойка песчаного грунта толщиной более 5 см, в выражение (4) вместо  $E_z$  подставляется общий модуль на поверхности песчаной прослойки, определяемый по обычной методике.

При меньшей толщине песчаной прослойки допускается не учитывать ее влияния в расчете.

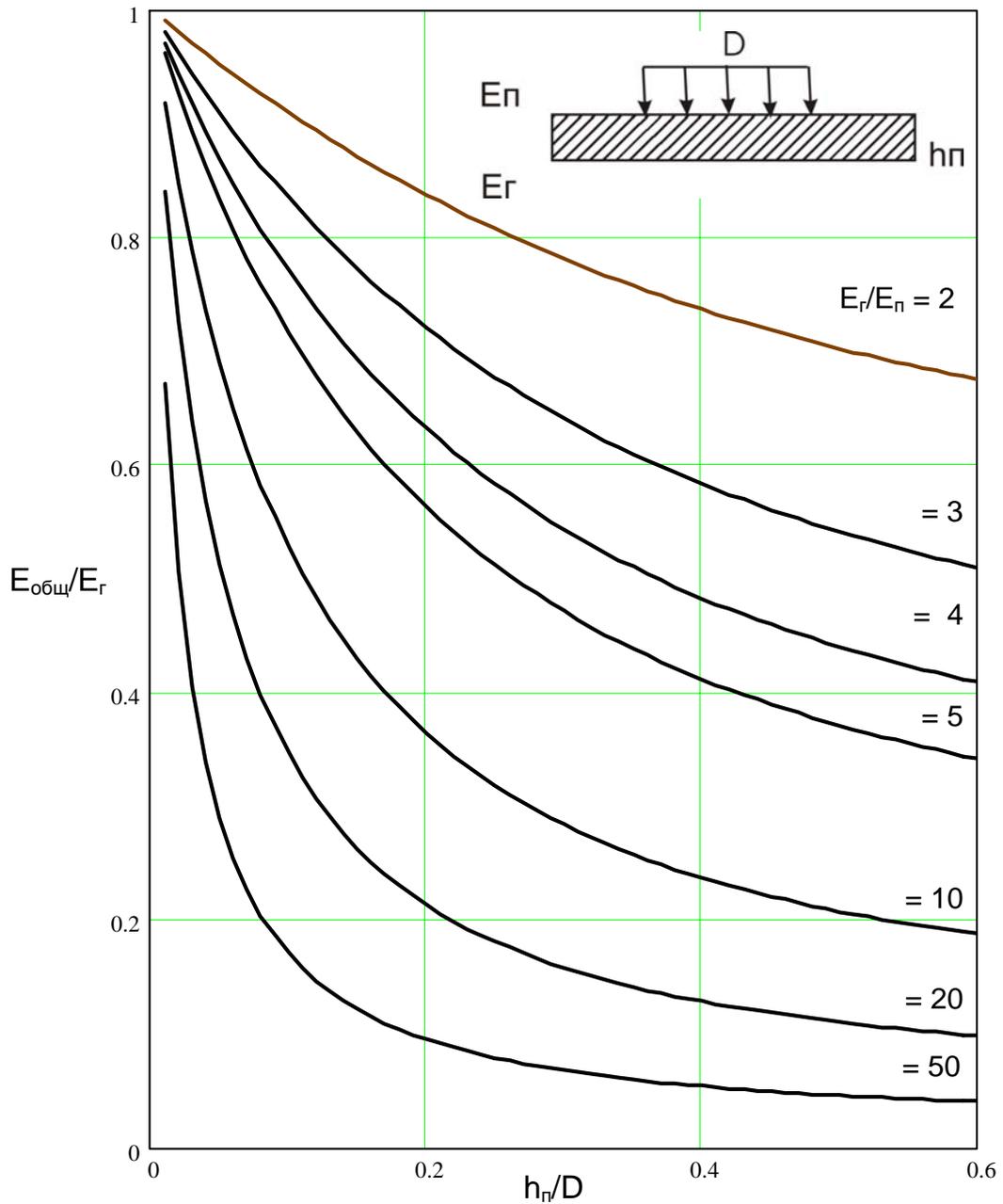


Рис.11. Номограмма для расчета общего модуля упругости двухслойной системы «теплоизолятор – подстилающий грунт»  $E_{\text{общ}}$ ;  
 $E_{\text{п}}$  – модуль упругости плит «Пеноплэкс»;  $E_{\text{г}}$  – модуль упругости грунта;  
 $h_{\text{п}}$  – толщина плит «Пеноплэкс»;  $D$  – диаметр отпечатка колеса.

## **9. Особенности технологии и организации работ по устройству дорожных конструкций с теплоизолирующими слоями из плит «ПЕНОПЛЭКС» в зоне вечной мерзлоты**

**9.1.** Теплоизолирующий слой из плит «ПЕНОПЛЭКС» применяется только совместно с выравнивающим ( $\geq 5$  см) и защитным (30 см) слоями. Для сохранения вечной мерзлоты в основании насыпи теплоизолирующий слой следует устраивать, как правило, в холодное время года. В выравнивающем слое в основании плит «ПЕНОПЛЭКС» не должно быть мерзлых комьев, поэтому необходимо обеспечить своевременную заготовку песка, пригодного для этой цели. Следует использовать либо талый песок, извлеченный из середины бурта и транспортированный автомашинами с утеплителем, либо сыпучемерзлый (с влажностью менее 7%).

**9.2.** При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается защитный слой выполнять из фракционированного щебня или крупнообломочного грунта, причем при использовании в качестве защитного слоя фракционированного щебня расчетную толщину слоя «ПЕНОПЛЭКСА» необходимо увеличить на 1 см, а для крупнообломочного грунта – на 2-3 см.

**9.3.** Теплоизолирующий слой может быть устроен в начале периода положительных температур до начала оттаивания грунта.

**9.4.** При проведении работ в период положительных температур, должен проводиться мониторинг, обеспечивающий контроль температуры в конструкции насыпи и в основании и принятие оперативных мер в случае опасных ситуаций.

В качестве таких мер может быть предусмотрено:

- ускорение сооружения насыпи над теплоизолятором;
- временное усиление теплоизоляции за счет укладки дополнительных слоев теплоизолятора (с последующим их снятием);
- прекращение работ с переносом их на морозный период и т.д.

**9.5.** Подробно технология и организация работ по устройству дорожных конструкций с теплоизолирующими слоями из плит «ПЕНОПЛЭКС» в зоне вечной мерзлоты описана в Технологической карте на устройство теплоизолирующего слоя из материала «ПЕНОПЛЭКС» (Приложение 5).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Геокриология СССР. Т. 1-5. Под ред. Э.Д. Ершова, М., Недра, 1989.
2. Геокриологические опасности. Тематический том. Под ред. Л.С. Гарагуля, Э.Д. Ершова. М., Издательская фирма «Крук», 2000.
3. Общее мерзловедение. Под ред. В.А. Кудрявцева. М., Изд-во МГУ, 1987.
4. ВСН 84-89 «Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты.», или документ, их заменяющий.
5. СНиП 2.02.04 – 88. Основания и фундаменты зданий на вечномерзлых грунтах. М., Стройиздат, 1990.
6. СНиП II -А. 6 -72. Строительная климатология и геофизика. М., Стройиздат, 1973.
7. Методические рекомендации по проектированию и устройству теплоизоляционных слоев дорожной одежды из пенополистирольных плит «ПЕНОПЛЭКС» М., СОЮЗДОРНИИ, 2000, (фонды ООО «Пеноплэкс СПб»).
8. 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). М., Росавтодор, 2003, 32.с.
9. Теплозащитный экран. Патент на изобретение № 2241798. Бюллетень. изобретений № 34 от 10.12.2004.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

**Номенклатура, механические и теплофизические свойства  
плит «ПЕНОПЛЭКС»**

Таблица П.1.1.

Наименование показателя	Метод испытания	Размерность	Величина показателей для плит «ПЕНОПЛЭКС» марок	
			35	45
Плотность	ГОСТ 17177-94	кг/м <sup>3</sup>	29,5 – 38,5	38,6 – 50
Прочность на сжатие при 10% линейной деформации	ГОСТ 17177-94	МПа	0,25	0,5
Предел прочности при статическом изгибе	ГОСТ 17177-94	МПа	0.4 – 0.9*	0.4 – 0.7*
Водопоглощение за 24 часа, не более	ГОСТ 17177-94	% по объему	0.1	0.2
Водопоглощение за 30 суток, не более		% по объему	0.4	0.4
Коэффициент теплопроводности при (25±5) °С, не более	ГОСТ 7076-99	Вт/(м*°С)	0.028	0.03
Модуль упругости	СОЮЗДОРНИИ	МПа	15	18
Категория стойкости к огню			Г1;В2;Д3; РП1	Г4;В3;Д3
Рабочий диапазон температур	ТУ	°С	-50.....+75	
Объёмная теплоемкость		Дж/(м <sup>3</sup> * °С)* *10 <sup>-6</sup>	0.57	0.06
Стандартные размеры	ширина	мм	600	
	длина		1200	2400; 4000
	толщина		23; 30; 40; 50; 60; 80; 100	40; 50; 60; 80; 100; 120

## Указания:

- Плиты «ПЕНОПЛЭКС» следует использовать в пределах рекомендуемого диапазона рабочих температур. При длительном превышении этого диапазона плиты могут необратимо изменить свои размеры и потерять свои механические и теплоизоляционные свойства.
- Плиты «ПЕНОПЛЭКС» обладают достаточно высокой химической стойкостью по отношению к большинству используемых в строительстве материалов и веществ: битумным смесям, не содержащим растворителей средств на водной основе для защиты древесины, извести, цементу и т.д.
- Некоторые органические вещества (включая содержащие растворители средства на водной основе для защиты древесины, каменноугольную смолу и ее производные, разбавители красок, а так же широко употребляемые растворители – ацетон, этилацетат, нефтяной толуол и т.д.) могут привести к размягчению или усадке экструзионных пенополистиролов.
- Плиты «ПЕНОПЛЭКС» можно хранить на открытом воздухе в оригинальной упаковке, но их необходимо предохранять от воздействия интенсивного солнечного света для предотвращения выгорания верхнего слоя.
- Экструзионный пенополистирол «ПЕНОПЛЭКС» не подвержен биологическому разложению в условиях окружающей среды и не представляет никакой опасности для экологии и здоровья людей, о чем свидетельствует наличие всех необходимых заключений и сертификатов.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### *Расчётные значения теплофизических характеристик материалов и грунтов*

**Таблица П.2.1. Расчётные значения теплофизических характеристик грунтов в талом и мёрзлом состоянии (согласно СНиП 2.02.04-88)**

Плотность сухого грунта, т/м <sup>3</sup>	Суммарная влажность грунта (весовая), доли ед.	Суммарная влажность грунта (объемная), доли ед.	Теплопроводность грунта, Вт/(м*°C)								Объемная теплоемкость грунта, Дж/(м <sup>3</sup> *°C)* 10 <sup>-6</sup>	
			Пески разной крупности и гравелистые		Супеси пылеватые		Суглинки и глины		Заторфованные грунты и торфы		сТ (талого)	сF (мёрз лого)
			λ Т (талого)	λ F (мёрз лого)	λ Т (талого)	λ F (мёрз лого)	λ Т (талого)	λ F (мёрз лого)	λ Т (талого)	λ F (мёрз лого)		
0.1	9.00	0.9	-	-	-	-	-	-	0.81	1.34	4.00	2.31
0.1	6.00	0.6	-	-	-	-	-	-	0.40	0.70	2.73	1.68
0.1	4.00	0.4	-	-	-	-	-	-	0.23	0.41	1.88	1.26
0.1	2.00	0.2	-	-	-	-	-	-	0.12	0.23	1.05	0.64
0.2	4.00	0.8	-	-	-	-	-	-	0.81	1.33	3.78	2.40
0.2	2.00	0.4	-	-	-	-	-	-	0.23	0.52	2.10	1.47
0.3	3.00	0.9	-	-	-	-	-	-	0.93	1.39	4.15	2.40
0.3	2.00	0.6	-	-	-	-	-	-	0.41	0.70	3.32	2.10
0.4	2.00	0.8	-	-	-	2.10	-	2.10	0.93	1.39	3.78	2.73
0.7	1.00	0.7	-	-	-	2.10	-	2.00	-	-	3.60	2.10
1.0	0.60	0.6	-	-	-	2.00	-	1.90	-	-	3.44	2.18
1.2	0.40	0.48	-	-	-	1.90	1.57	1.80	-	-	3.11	2.12
1.4	0.35	0.49	-	-	1.80	1.86	1.57	1.66	-	-	3.35	2.35
1.4	0.30	0.42	-	-	1.74	1.80	1.45	1.57	-	-	3.02	2.18
1.4	0.25	0.35	1.91	2.14	1.57	1.68	1.33	1.51	-	-	2.78	2.06
1.4	0.20	0.28	1.57	1.86	1.33	1.51	1.10	1.22	-	-	2.48	1.89
1.4	0.15	0.21	1.39	1.62	1.10	1.27	0.87	0.99	-	-	2.18	1.76
1.4	0.10	0.14	1.10	1.27	0.93	1.05	0.70	0.75	-	-	1.89	1.74
1.4	0.05	0.07	0.75	0.81	0.64	0.70	0.46	0.52	-	-	1.60	1.47
1.6	0.30	0.48	-	-	1.86	1.97	1.68	1.86	-	-	1.84	2.48
1.6	0.25	0.40	2.50	2.73	1.80	1.91	1.51	1.68	-	-	3.15	2.35
1.6	0.20	0.32	2.15	2.37	1.62	1.74	1.33	1.51	-	-	2.31	2.14
1.6	0.15	0.24	1.80	2.00	1.45	1.57	1.10	1.22	-	-	2.48	2.02
1.6	0.10	0.16	1.45	1.62	1.16	1.28	0.87	0.93	-	-	2.16	1.80
1.6	0.05	0.08	1.05	1.10	0.81	0.87	0.58	0.64	-	-	1.83	1.68
1.8	0.20	0.36	2.67	2.84	1.86	1.97	1.57	1.80	-	-	3.17	2.41
1.8	0.15	0.27	2.26	2.62	1.68	1.80	1.39	1.57	-	-	2.78	2.26
1.8	0.10	0.18	1.97	2.20	1.45	1.57	1.05	1.22	-	-	2.42	2.04
1.8	0.05	0.09	1.45	1.51	0.9	0.99	0.70	0.75	-	-	2.04	1.89
2.0	0.10	0.20	2.73	2.90	1.74	1.86	1.28	1.39	-	-	2.68	2.26
2.0	0.05	0.10	2.10	2.14	-	-	-	-	-	-	2.26	2.10

**Таблица П.2.2. Расчётные значения теплофизических характеристик материалов дорожной конструкции.**

Название материала слоя	Влажность, $W$ , доли единицы, (объёмная)	Плотность, $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	Теплопроводность Вт/(м·°С)		Объёмная теплоемкость, Дж/(м <sup>3</sup> ·°С)*10 <sup>-6</sup>	
			талого, $\lambda_T$	мерзлого, $\lambda_F$	талого, $c_T$	мерзлого $c_F$
1	2	3	4	5	6	7
Асфальтобетон песчаный высокопористый			1,07	1,13	0,83	0,87
Асфальтобетон мелкозернистый, тип В, марка I			1,64	1,75	0,99	1,11
Асфальтобетон крупнозернистый пористый			1,53	1,67	1,00	1,12
Железобетон	0,02–0,05	2,50	2,04	2,26	2,09	2,05
Цементобетон	0,03–0,06	2,20	1,86	2,16	2,22	2,09
Щебень	0,1	2,00	2,67	3,37	2,13	2,09
Гравий	0,1	2,90	2,00	2,44	2,40	2,22
Песок	0,1	1,80	1,51	1,86	2,01	1,67
<b>«ПЕНОПЛЭКС»</b>	<b>0,004</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>
Торф	0,8	0,30	0,93	1,40	3,9	2,70
Суглинок	0,4	1,60	1,51	1,70	3,15	2,35

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### ***Определение необходимой толщины теплоизоляционного слоя из материала «ПЕНОПЛЭКС»***

Для того, чтобы правильно назначить необходимую толщину слоя «ПЕНОПЛЭКС», нужно определить величину оттаивания естественных грунтов основания насыпи, при которой осадка насыпи в оттаявшие грунты основания не будет превышать допустимой величины  $S_{\text{доп}}$  [ВСН 84-89, прилож. 4, п. 2].

При этом стоит заметить, что при проектировании насыпи по I принципу – оттаивание естественных грунтов основания не допускается и расчёт сразу можно начинать по компьютерной программе.

#### **Порядок расчёта (при проектировании дорожной конструкции по II принципу):**

1) Расчёт ведётся согласно с ВСН 84-89:

- а). Задаётся глубина оттаивания грунтов основания насыпи;
- б). Высчитывается строительная осадка грунтов основания насыпи  $S_c$  [ВСН 84-89, прилож. 7] и сравнивается с допустимой при данном типе покрытия  $S_{\text{доп}}$  [ВСН 84-89, прилож. 4, п. 2];
- в). При несовпадении величин  $S_c$  и  $S_{\text{доп}}$  корректируется (задаётся заново) глубина оттаивания грунтов основания насыпи. И так далее – до максимального совпадения величин  $S_c$  и  $S_{\text{доп}}$ ;
- г). Полученная таким образом величина оттаивания грунтов основания принимается допустимой при расчёте толщины материала «ПЕНОПЛЭКС» по компьютерной программе «ПЕНОПЭКС-1а».

2) Далее расчёт ведётся по программе «ПЕНОПЛЭКС-1а» следующим образом:

- а). Определяется конструкция и минимальная высота насыпи по условию снегонезаносимости (или по другим соображениям);
- б). Подставляются *задаваемые величины* (см. далее), в т.ч. толщина слоя «ПЕНОПЛЭКСа» и толщины конструктивных слоёв дорожной одежды и насыпи;
- в). Определяются *рассчитываемые величины* (см. далее);
- г). При несовпадении допустимой величины протаивания основания насыпи и полученной расчётом (по программе «ПЕНОПЛЭКС-1а»), корректируют толщину слоя «ПЕНОПЛЭКСа», добиваясь максимального совпадения величин.

Для строительства принимают такую толщину материала «ПЕНОПЛЭКС», при которой величина протаивания основания насыпи, полученная расчётом совпадает с допустимой (близко к допустимой), принимая во внимание также номенклатуру завода-изготовителя.

Ниже приводится программа «ПЕНОПЛЭКС-1а» выполненная в стандартном программном продукте «Mathcad-2000 “Prof», в которой приняты следующие обозначения:

**Примечание:** Исходные величины для расчёта по данной программе могут задаваться двумя способами (вариантами), исходя из наличия тех или иных исходных данных.

*а) задаваемые величины (I Вариант):*

$трер$  - годовой период =  $365*24*3600$ , сек. (const);  
 $L$  - теплота замерзания воды =  $332*10^6$  Дж/м<sup>3</sup>, (const);  
 $Tav$  - среднегодовая температура воздуха, °C;  
 $A$  - годовая амплитуда среднемесячных температур воздуха, °C;  
 $Hsn$  - толщина снежного покрова;  
 $h_i$  - толщина  $i$ -го слоя в насыпи ( $i$  отсчитывается сверху вниз);  
 $w_i$  - объемная влажность  $i$ -го слоя;  
 $\lambda T_i$  и  $\lambda F_i$  - теплопроводность талого и мерзлого  $i$ -го слоя;  
 $cT_i$  и  $cF_i$  - объемная теплоемкость талого и мерзлого  $i$ -го слоя;

*а) задаваемые величины (II Вариант):*

$L$  - теплота замерзания воды =  $332*10^6$  Дж/м<sup>3</sup>, (const);  
 $Hsn$  - толщина снежного покрова;  
 $S_s$  - сумма положительных градусосекунд;  
 $S_w$  - сумма отрицательных градусосекунд;  
 $(t$  - температура);  
 $(\tau$  - время);  
 $\tau_s$  - продолжительность лета ( $t>0$ );  
 $\tau_w$  - продолжительность зимы ( $t<0$ );  
 $tus$  - среднелетняя температура воздуха;  
 $tuw$  - средnezимняя температура воздуха;  
 $h_i$  - толщина  $i$ -го слоя в насыпи ( $i$  отсчитывается сверху вниз);  
 $w_i$  - объемная влажность  $i$ -го слоя;  
 $\lambda T_i$  и  $\lambda F_i$  - теплопроводность талого и мерзлого  $i$ -го слоя;  
 $cT_i$  и  $cF_i$  - объемная теплоемкость талого и мерзлого  $i$ -го слоя;

*б) рассчитываемые величины:*

$STLE$  - протаивание в насыпи и основании;  
 $SFLE$  - промерзание без снега на поверхности в насыпи и основании;  
 $SFLN$  - промерзание в естественных условиях (вне насыпи);  
 $STLN$  - протаивание в естественных условиях (вне насыпи);  
 $SFLE1$  - промерзание в насыпи и основании со снегом на поверхности.

### ПЕНОПЛЭКС –1а.

$$L := 332 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{joule}}{\text{m}^3} \quad \tau_{\text{per}} := 365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \text{sec} \quad T_{\text{av}} := 0 \cdot \text{K} \quad A := 10 \cdot \text{K} \quad H_{\text{sn}} := 0.5 \cdot \text{m}$$

$$t(\tau) := T_{\text{av}} + \frac{A}{2} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot \tau}{\tau_{\text{per}}}\right) \quad \alpha := \text{asin}\left(\frac{-2 \cdot T_{\text{av}}}{A}\right)$$

$$S_s := \frac{A \cdot \tau_{\text{per}}}{2 \cdot \pi} \cdot \left| \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot T_{\text{av}}}{A}\right)^2} + \frac{T_{\text{av}}}{A} \cdot (\pi - 2 \cdot \alpha) \right|$$

$$S_w := \frac{A \cdot \tau_{\text{per}}}{2 \cdot \pi} \cdot \left| \frac{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot T_{\text{av}}}{A}\right)^2}}{2} + \frac{T_{\text{av}} \cdot \alpha}{A} \right| + \frac{A \cdot \tau_{\text{per}}}{2 \cdot \pi} \cdot \left| \frac{-\left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot T_{\text{av}}}{A}\right)^2}\right]}{2} + \frac{T_{\text{av}} \cdot (\pi + \alpha)}{A} \right|$$

$$\tau_s := \frac{\pi - 2 \cdot \alpha}{2 \cdot \pi} \cdot \tau_{\text{per}} \quad \tau_w := \frac{\pi + 2 \cdot \alpha}{2 \cdot \pi} \cdot \tau_{\text{per}} \quad t_{us} := \frac{S_s}{\tau_s} \quad t_{uw} := \frac{-S_w}{\tau_w}$$

$$S_s = 5.019 \times 10^7 \text{ s K} \quad t_{uw} = -3.183 \text{ K} \quad t_{us} = 3.183 \text{ K} \quad \tau_s = 1.577 \times 10^7 \text{ s} \quad \tau_w = 1.577 \times 10^7 \text{ s}$$

$$S_w = 5.019 \times 10^7 \text{ s K} \quad N := 7 \quad i := 1..N$$

$$h_i := \begin{cases} 0 \cdot \text{m} & \text{if } i = 1 \\ 0.3 \cdot \text{m} & \text{if } i = 2 \\ 0.1 \cdot \text{m} & \text{if } i = 3 \\ 0.3 \cdot \text{m} & \text{if } i = 4 \\ 0.1 \cdot \text{m} & \text{if } i = 5 \\ 0.9 \cdot \text{m} & \text{if } i = 6 \\ 6.0 \cdot \text{m} & \text{if } i = 7 \end{cases} \quad w_i := \begin{cases} 0.05 & \text{if } i = 1 \\ 0.17 & \text{if } i = 2 \\ 0.03 & \text{if } i = 3 \\ 0.17 & \text{if } i = 4 \\ 0.03 & \text{if } i = 5 \\ 0.17 & \text{if } i = 6 \\ 0.17 & \text{if } i = 7 \end{cases}$$

$$\lambda T_i := \begin{cases} \left(1.8 \cdot \frac{W}{m \cdot K}\right) & \text{if } i = 1 \\ \left(1.8 \cdot \frac{W}{m \cdot K}\right) & \text{if } i = 2 \\ \left(0.03 \cdot \frac{W}{m \cdot K}\right) & \text{if } i = 3 \\ \left(1.8 \cdot \frac{W}{m \cdot K}\right) & \text{if } i = 4 \\ \left(0.03 \cdot \frac{W}{m \cdot K}\right) & \text{if } i = 5 \\ \left(1.8 \cdot \frac{W}{m \cdot K}\right) & \text{if } i = 6 \\ \left(1.8 \cdot \frac{W}{m \cdot K}\right) & \text{if } i = 7 \end{cases} \quad \lambda F_i := \begin{cases} 2 \cdot \frac{W}{m \cdot K} & \text{if } i = 1 \\ 2.2 \cdot \frac{W}{m \cdot K} & \text{if } i = 2 \\ 0.03 \cdot \frac{W}{m \cdot K} & \text{if } i = 3 \\ 2.2 \cdot \frac{W}{m \cdot K} & \text{if } i = 4 \\ 0.03 \cdot \frac{W}{m \cdot K} & \text{if } i = 5 \\ 2.2 \cdot \frac{W}{m \cdot K} & \text{if } i = 6 \\ 2.2 \cdot \frac{W}{m \cdot K} & \text{if } i = 7 \end{cases}$$

$$cT_i := \begin{cases} \left[2 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right)\right] & \text{if } i = 1 \\ \left[2 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right)\right] & \text{if } i = 2 \\ \left[0.06 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right)\right] & \text{if } i = 3 \\ \left[2 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right)\right] & \text{if } i = 4 \\ \left[0.06 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right)\right] & \text{if } i = 5 \\ 2 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right) & \text{if } i = 6 \\ 2 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right) & \text{if } i = 7 \end{cases} \quad cF_i := \begin{cases} \left[2 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right)\right] & \text{if } i = 1 \\ \left[1.6 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right)\right] & \text{if } i = 2 \\ \left[0.06 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right)\right] & \text{if } i = 3 \\ \left[1.6 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right)\right] & \text{if } i = 4 \\ 0.06 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right) & \text{if } i = 5 \\ \left[1.6 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right)\right] & \text{if } i = 6 \\ \left[1.6 \cdot \left(10^6 \cdot \frac{J}{m^3 \cdot K}\right)\right] & \text{if } i = 7 \end{cases}$$

### ПРОТАИВАННИЕ в насыпи (STLE)

$$\tau_0 := 0 \cdot s \quad h_0 := 0 \quad \lambda T_0 := \lambda T_1 \quad a := 1 \quad N := 7 \quad i := 1..N$$

$$s_i := \sum_{j=0}^{i-1} \frac{\lambda T_i}{\lambda T_j} \cdot h_j \quad \beta_i := \frac{w_i \cdot L}{cT_i \cdot t_{us} + w_i \cdot L} \quad \tau_s = 1.577 \times 10^7 s$$

$$\tau_i := \tau_{i-1} + \frac{cT_i \cdot tus + w_i \cdot L}{2 \cdot \lambda T_i \cdot tus} \cdot h_i \cdot (h_i + \beta_i \cdot s_i) \cdot a$$

$$\tau_i =$$

0
9.866·10 <sup>5</sup>
2.102·10 <sup>6</sup>
2.171·10 <sup>7</sup>
2.392·10 <sup>7</sup>
1.445·10 <sup>8</sup>
1.337·10 <sup>9</sup>

$$\tau T_i := \begin{cases} 0 & \text{if } \tau_{i-1} \geq \tau s \\ \lceil ((\tau s - \tau_{i-1})) \rceil & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\tau T_i =$$

1.577·10 <sup>7</sup>
1.577·10 <sup>7</sup>
1.478·10 <sup>7</sup>
1.367·10 <sup>7</sup>
0
0
0

$$uT_i := \begin{cases} h_i & \text{if } \tau_i \leq \tau s \\ \left\lceil \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda T_i \cdot tus \cdot \tau T_i}{cT_i \cdot tus + w_i \cdot L} + (\beta_i \cdot s_i)^2} - \beta_i \cdot s_i \right\rceil & \text{if } \tau_i > \tau s \end{cases}$$

$$STLE := \sum_{i=1}^N uT_i$$

$$STLE = 0.616 \text{ m}$$

$$uT_i =$$

0
0.3
0.1
0.216
0
0
0

$$h_i =$$

0
0.3
0.1
0.3
0.1
0.9
6

### ПРОМЕРЗАНИЕ под оголенной поверхностью SFLE в насыпи

$$N := 7 \quad i := 1..N \quad \tau l_0 := 0 \cdot \text{sec} \quad h_0 := 0 \quad \lambda F_0 := \lambda F_1$$

$$sF_i := \sum_{j=0}^{i-1} \frac{\lambda F_i}{\lambda F_j} \cdot h_j \quad \beta 1_i := \frac{w_i \cdot L}{cF_i \cdot |tuw| + w_i \cdot L}$$

$$\tau l_i := \tau l_{i-1} + \frac{cF_i \cdot |tuw| + w_i \cdot L}{2 \cdot \lambda F_i \cdot |tuw|} \cdot h_i \cdot (h_i + \beta 1_i \cdot sF_i) \cdot a$$

$$\tau F_i := \begin{cases} 0 & \text{if } \tau_{1_{i-1}} \geq \tau_w \\ ((\tau_w - \tau_{1_{i-1}})) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \tau_w = 1.577 \times 10^7 \text{ s}$$

$$\tau F_i =$$

1.577·10 <sup>7</sup>	s
1.577·10 <sup>7</sup>	
1.498·10 <sup>7</sup>	
1.387·10 <sup>7</sup>	
0	
0	
0	

$$uF_i := \begin{cases} h_i & \text{if } \tau_{1_i} \leq \tau_w \\ \left[ \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda F_i \cdot |tuw| \cdot \tau F_i}{cF_i \cdot |tuw| + w_i \cdot L} + (\beta_{1_i} \cdot sF_i)^2} - (\beta_{1_i} \cdot sF_i) \right] & \text{if } \tau_{1_i} > \tau_w \end{cases}$$

$$h_i =$$

0	m
0.3	
0.1	
0.3	
0.1	
0.9	
6	

$$uF_i =$$

0	m
0.3	
0.1	
0.222	
0	
0	
0	

$$SFLE := \sum_{i=1}^N uF_i \quad SFLE = 0.622 \text{ m}$$

ПРОМЕРЗАНИЕ (SFLN) И ПРОТАИВАНИЕ (STLN) В НАТУРЕ (N-NATURAL)  
ОДНОСЛОЙНОЕ ПОД СНЕГОМ

$$dl := 1 \cdot \text{m} \quad Hsndl := \frac{Hsn}{dl} \quad tuw1 := \frac{tuw}{1 + 4 \cdot Hsndl} \quad tuw1 = -1.061 \text{ K}$$

$$SFLN := \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda F_7 \cdot |tuw1| \cdot \tau w}{cF_7 \cdot |tuw1| + w_7 \cdot L}} \quad SFLN = 1.125 \text{ m} \quad STLN := \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda T_7 \cdot tus \cdot \tau s}{cT_7 \cdot tus + w_7 \cdot L}} \quad STLN = 1.696 \text{ m}$$

ПРОМЕРЗАНИЕ НАСЫПИ ПОД СНЕГОМ SFLE1

$$N := 7 \quad i := 1..N \quad \tau_{1_0} := 0 \cdot \text{sec} \quad h_0 := 0 \quad \lambda F_0 := \lambda F_1 \quad \lambda F_0 = 2 \text{ kg ms}^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$sF_{1_i} := \sum_{j=0}^{i-1} \frac{\lambda F_j}{\lambda F_i} \cdot h_j \quad \beta_{1_i} := \frac{w_i \cdot L}{cF_i \cdot |tuw1| + w_i \cdot L}$$

$$\tau_{1_i} := \tau_{1_{i-1}} + \frac{cF_i \cdot |tuw1| + w_i \cdot L}{2 \cdot \lambda F_i \cdot |tuw1|} \cdot h_i \cdot (h_i + \beta_{1_i} \cdot sF_{1_i}) \cdot a$$

$$\tau F_i := \begin{cases} 0 & \text{if } \tau_{1_{i-1}} \geq \tau_w \\ ((\tau_w - \tau_{1_{i-1}})) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \tau_w = 1.577 \times 10^7 \text{ s}$$

$$uF1_i := \begin{cases} h_i & \text{if } \tau 11_i \leq \tau w \\ \left[ \frac{2 \cdot \lambda F_i \cdot |tuw1| \cdot \tau F1_i}{cF_i \cdot |tuw1| + w_i \cdot L} + (\beta 11_i \cdot sF1_i)^2 - (\beta 11_i \cdot sF1_i) \right] & \text{if } \tau 11_i > \tau w \end{cases}$$

 $uF1_i =$ 

0	m
0.3	
0.1	
0.055	
0	
0	
0	

 $uT1_i =$ 

0	m
0.3	
0.1	
0.216	
0	
0	
0	

 $h_i =$ 

0	m
0.3	
0.1	
0.3	
0.1	
0.9	
6	

 $\tau F1_i =$ 

$1.577 \cdot 10^7$	s
$1.577 \cdot 10^7$	
$1.353 \cdot 10^7$	
$1.025 \cdot 10^7$	
0	
0	
0	

$$SFLE1 := \sum_{i=1}^N uF1_i$$

$SFLE1 = 0.455\text{m}$

$STLE = 0.616\text{m}$

$SFLE = 0.622\text{m}$

$$HEM := \sum_{i=1}^6 h_i$$

$HEM = 1.7\text{m}$

$SFLN = 1.125\text{m}$

$STLN = 1.696\text{m}$

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### ***Расчет необходимой толщины плит «ПЕНОПЛЭКС» по условию недопущения образования под ними трещин в слоистом земляном полотне***

Расчет необходимой толщины плит «ПЕНОПЛЭКС» для недопущения под ними морозобойного растрескивания грунтов земляного полотна производится по приводимой программе «Пенокрэк» в стандартном программном продукте Маткад –2000 (см. дискету). Расчет производится подбором из условия недопущения превышения максимальной амплитуды температуры грунта под слоем плит «ПЕНОПЛЭКС» ( $A_{min}$ ) ее максимально допустимого значения по условию морозобойного растрескивания ( $A_{cr}$ ). Значения  $A_{cr}$  могут определяться в ходе изысканий. Ориентировочные значения  $A_{cr}$  для некоторых мерзлых грунтов: для песка  $w \cong 0,15 \div 0,22$   $A_{cr} = -18 \div 25$  °С, для супесчано-суглинистого грунта  $w \cong 0,25 \div 0,45$   $A_{cr} = -14 \div 20$  °С, для мерзлых торфов  $w \cong 3,5 \div 5,0$   $A_{cr} = -12 \div 15$  °С.

Расчет  $A_{min}$  производится по программе (см. ниже), где введены обозначения:

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

$\lambda F_i$  и  $cF_i$  - коэффициенты теплопроводности и теплоемкости  $i$ -го слоя;

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

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

$A_{min0}$  – минимальная температура воздуха (абс. значение, °С)

В приведенном ниже примере использован следующий разрез (сверху вниз): железобетонная плита 0,14 м; песок 0,30 м; плита «ПЕНОПЛЭКС» толщиной  $h_P$ ; ниже супесь. В тексте принят начальный вариант  $h_P = 0,1$  м. В результате подбора получена зависимость значений  $h_P$ , предотвращающих растрескивание грунта насыпи под плитами «ПЕНОПЛЭКС», от амплитуды  $A0_1$ , являющейся средней температурой воздуха самого холодного месяца. Полученные результаты приведены в таблице П.4.1. после программы расчета.

## «ПЕНОКРЭК»

## Растрескивание слоистого массива

$$N := 7 \quad i := 1..N \quad k := 1..3 \quad h_i := \begin{cases} (0.14 \text{ m}) & \text{if } i = 1 \\ (0.3 \text{ m}) & \text{if } i = 2 \\ (0.1 \text{ m}) & \text{if } i = 3 \\ (1 \text{ m}) & \text{if } i > 3 \end{cases} \quad \lambda F_i := \begin{cases} \left(2 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right) & \text{if } i = 1 \\ \left(1.8 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right) & \text{if } i = 2 \\ \left(0.03 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right) & \text{if } i = 3 \\ \left(1.6 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right) & \text{if } i > 3 \end{cases}$$

$$cF_i := \begin{cases} \left(2 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{joule}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}\right) & \text{if } i = 1 \\ \left(1.8 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{joule}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}\right) & \text{if } i = 2 \\ \left(0.06 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{joule}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}\right) & \text{if } i = 3 \\ \left(1.6 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{joule}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}\right) & \text{if } i > 3 \end{cases} \quad \text{Ac}_i := \begin{cases} (-50 \text{ K}) & \text{if } i = 1 \\ (-25 \text{ K}) & \text{if } i = 2 \\ (-100 \text{ K}) & \text{if } i = 3 \\ (-14 \text{ K}) & \text{if } i > 3 \end{cases} \quad T_k := \begin{cases} (365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ sec}) & \text{if } k = 1 \\ (11 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ sec}) & \text{if } k = 2 \\ (1 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ sec}) & \text{if } k = 3 \end{cases}$$

$$A0_k := \begin{cases} (-20 \text{ K}) & \text{if } k = 1 \\ (4 \text{ K}) & \text{if } k = 2 \\ (6 \text{ K}) & \text{if } k = 3 \end{cases} \quad i := 1..N-1 \quad \omega_k := \frac{\pi}{T_k} \quad \mu_{i,k} := \sqrt{\frac{\omega_k \cdot cF_{i+1}}{2 \cdot \lambda F_{i+1}}} \quad m_i := \frac{\lambda F_i}{\lambda F_{i+1} \cdot h_i}$$

$$A_{\min_i} := \sum_{k=1}^3 \left[ \left( \prod_{j=1}^i \frac{m_j}{m_j + \mu_{j,k}} \right) \cdot |A0_k| \right] \quad A_{\min_i} = \begin{array}{|c|} \hline 26.798 \\ \hline 26.623 \\ \hline 9.461 \\ \hline 7.47 \\ \hline 6.016 \\ \hline 4.883 \\ \hline \end{array} \text{ K} \quad A_{\min 0} := \sum_{k=1}^3 |A0_k| \quad A_{\min 0} = 30 \text{ K}$$

Таблица П.4.1.

Зависимость толщины слоя из плит «ПЕНОПЛЭКС» (hP)  
от средней температуры воздуха самого холодного месяца (AO<sub>1</sub>)

AO <sub>1</sub> °C	hP м
- 40	0,12
- 35	0,09
- 30	0,07
- 25	0,04
- 20	0,02
- 15	0,002

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

### *Технологическая карта на устройство теплоизолирующего слоя из материала «ПЕНОПЛЭКС»*

#### **П.5.1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

Технологическая карта составлена на основе методов научной организации труда и предназначена для использования при разработке проекта производства работ и организации труда на объекте.

В технологической карте предусмотрено устройство теплоизолирующего слоя из материала «ПЕНОПЛЭКС» в условиях вечной мерзлоты шириной 17 м, толщиной 50 мм, а также даны некоторые отдельные указания по устройству выравнивающего и защитного слоёв. Более подробные указания по устройству выравнивающего и защитного слоёв можно получить из введенных ранее Технологических карт на устройство слоёв из песчаного грунта в северных условиях.

В технологической карте длина сменной захватки принята из условия производительности одной бригады рабочих, производящих укладку плит «ПЕНОПЛЭКС» в течение смены продолжительностью 8 часов.

Во всех случаях применения технологической карты необходима привязка её к местным условиям работы.

#### **П.5.2. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА**

##### ***П.5.2.1. Общие положения.***

В состав технологического процесса по устройству теплоизолирующих слоёв дорожной конструкции входят следующие операции:

- а) устройство выравнивающего слоя;
- б) укладка плит;
- в) устройство защитного слоя.

Теплоизолирующие слои необходимо устраивать согласно проектной документации. Как правило, теплоизолирующий слой устраивают путём укладки плит в один ярус, однако в отдельных случаях плиты могут быть уложены в два яруса.

Работы по укладке плит производят вручную.

До начала работы производится входной контроль плит «ПЕНОПЛЭКС» визуально.

#### ***П.5.2.2. Устройство выравнивающего слоя.***

Устройство выравнивающего слоя включает транспортировку, распределение, профилирование и уплотнение песка.

Выравнивающий слой должен соответствовать требуемым ровности и плотности в соответствии со СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги» и принят по акту на скрытые работы (форма 40Т). Толщина слоя составляет не менее 5 см в плотном теле.

Поверхность выравнивающего слоя перед кладкой на нём плит должна быть очищена от посторонних предметов и снега и иметь двускатный поперечный профиль для отвода (по слою из плит «ПЕНОПЛЭКС») возможной избыточной влаги из грунта земляного полотна.

#### ***П.5.2.3. Укладка плит теплоизолирующего слоя.***

Укладка плит начинается с разметки выравнивающего слоя, для чего используются трассировочный шнур, рулетка и штыри.

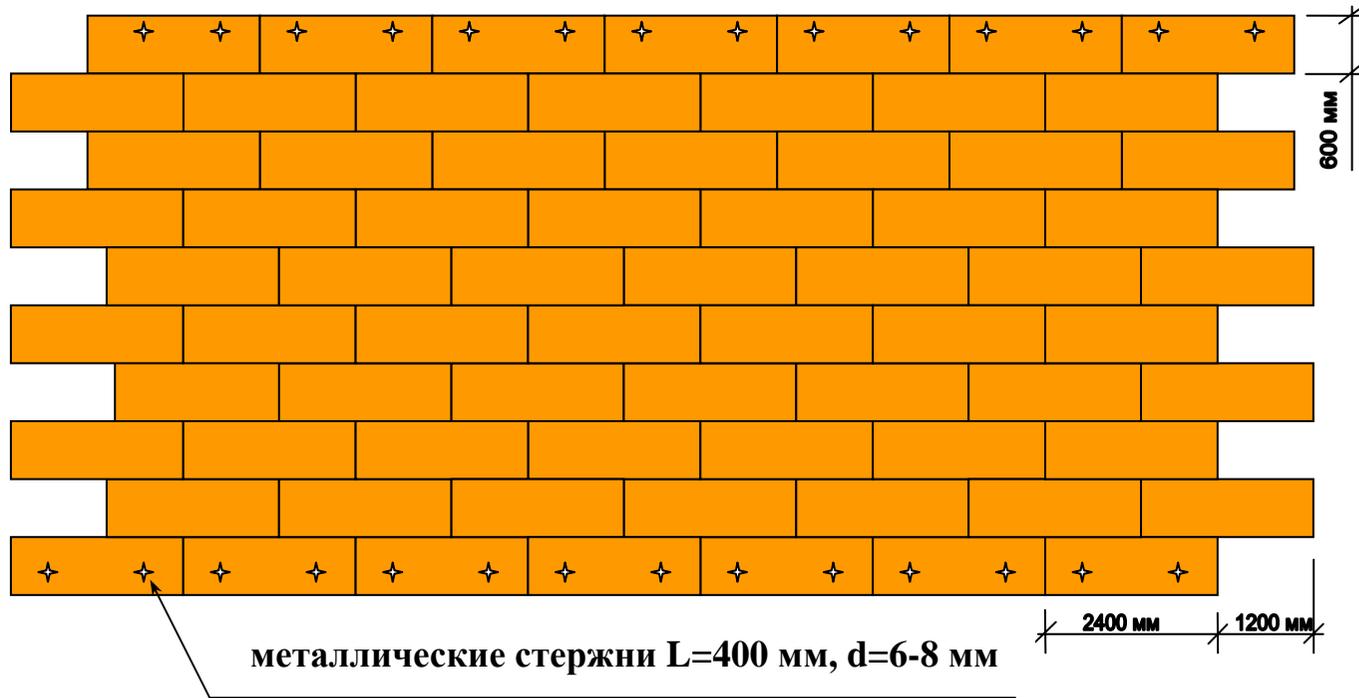
Плиты укладывают вручную бригадой рабочих. Плиты следует укладывать таким образом, чтобы поперечные швы в соседних рядах плит располагались вразбежку (рис. П.5.1.). В случае укладки плит в два яруса швы нижележащего яруса плит необходимо перекрывать вышележащими плитами (рис. П.5.2.).

При укладке необходимо обеспечить равномерное опирание всей поверхности плиты на выравнивающий слой.

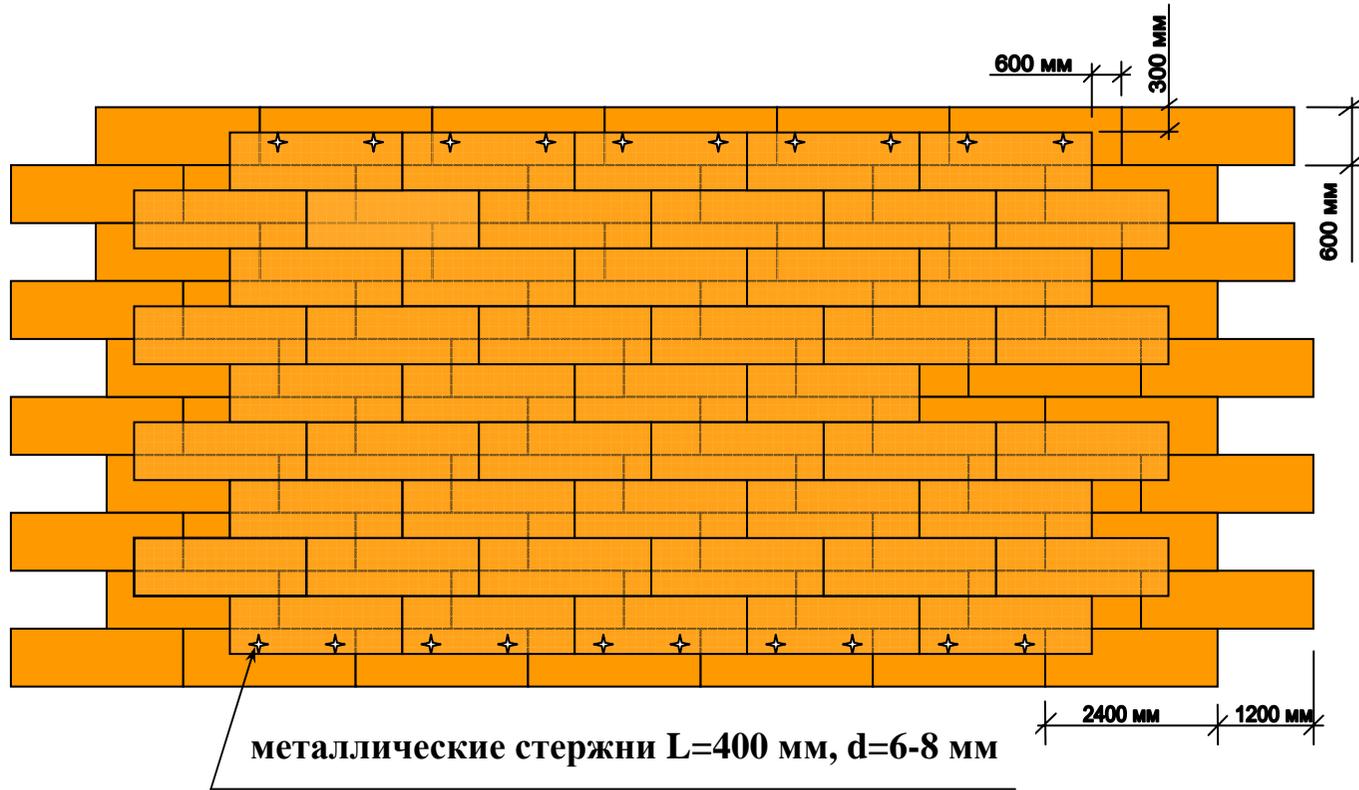
Плиты крайних рядов закрепляют двумя стальными стержнями диаметром 6-8 мм и длиной 400 мм в соответствии со схемой раскладки плит.

**Между участками трассы, где сохранение мерзлоты достигается с помощью теплоизолирующего слоя и где сохранение мерзлоты обеспечивается необходимой высотой насыпи (без теплоизолятора), необходимо предусматривать устройство переходных участков с уменьшенной толщиной теплоизолятора, обоснованной соответствующими расчетами, либо применять так называемую «шахматную» раскладку плит такой же толщины, как и на основном участке (согласно рис. П.5.3.).**

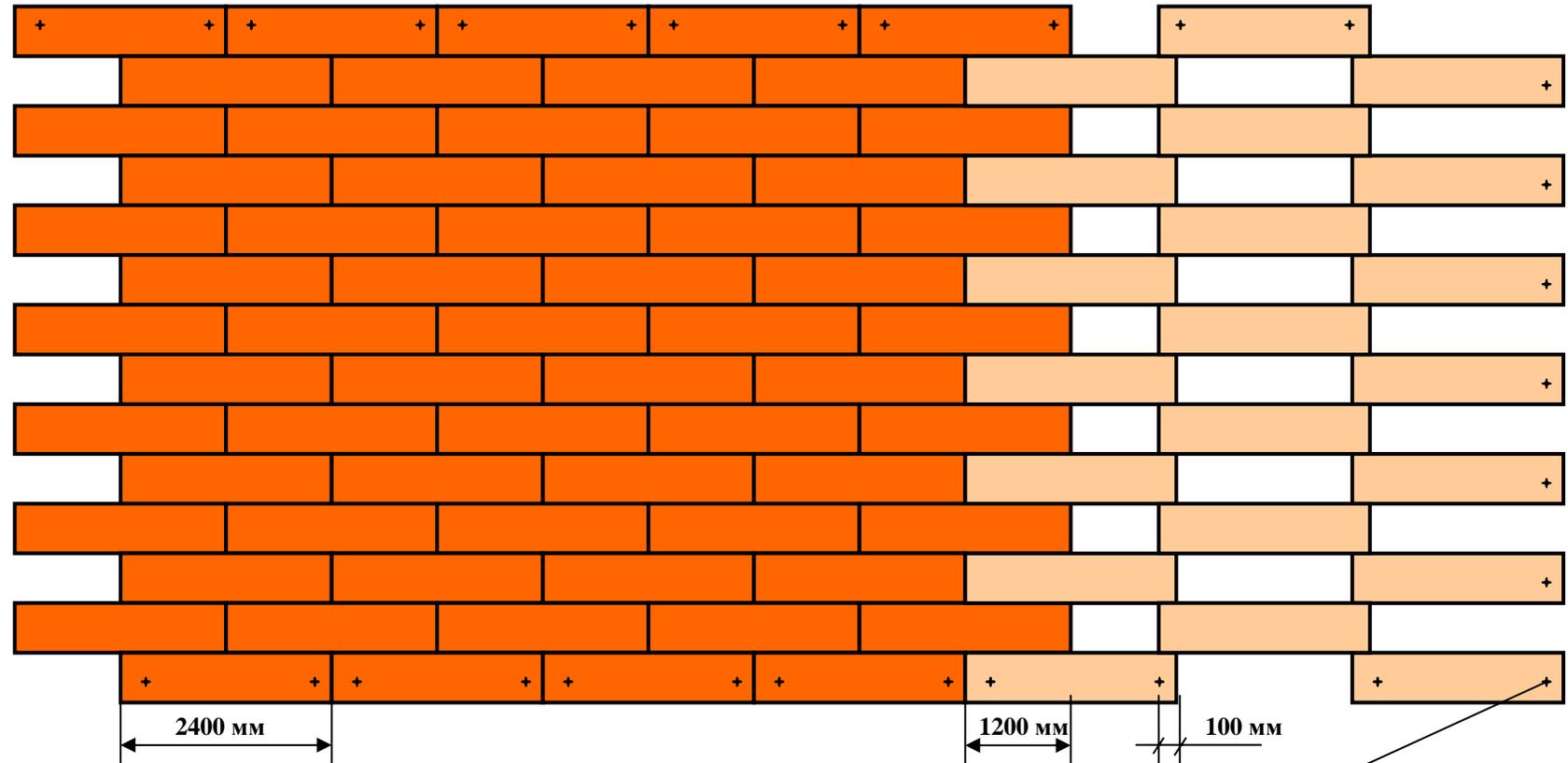
Теплоизолирующий слой должен быть принят по акту на скрытые работы (форма 40Т).



**Рис.П.5.1. I вариант раскладки плит «ПЕНОПЛЭКС»**



**Рис. П.5.2. II вариант раскладки плит «ПЕНОПЛЭКС»**



Металлические стержни  $L=400$  мм,  $D=6-8$  мм

 Плита толщиной 50 мм

 Плита толщиной 40 мм

**Рис. П.5.3. Вариант раскладки плит «ПЕНОПЛЭКС» на переходном участке**

#### **П.5.2.4. Устройство защитного слоя.**

Устройство защитного слоя включает транспортировку, распределение, профилирование и уплотнение песка.

Если защитный слой выполняет согласно проекту функции дренирующего слоя, песок должен иметь коэффициент фильтрации в соответствии с расчетным, как правило, не ниже 2 м/сут.

Толщина защитного слоя должна быть не менее 30 см в плотном теле.

Защитный слой отсыпают методом «от себя».

**Проезд строительной техники по плитам теплоизолирующего слоя не допускается.**

**Запрещается проход строительной техники по защитному слою толщиной менее 30 см в плотном теле в процессе производства работ.**

Распределение песка производят бульдозером при постоянном геодезическом контроле.

Автогрейдером производят профилирование поверхности песка за 1-2 прохода по одному следу.

Уплотнение производят гладковальцовым катком.

#### **П.5.2.5. Указанная по технике безопасности.**

Плиты «ПЕНОПЛЭКС» при температуре использования и эксплуатации не оказывают вредного воздействия на организм человека. Они не токсичны, не взрывоопасны, по ГОСТ 30244-94 - горючие материалы.

### **П.5.3. УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ**

#### **П.5.3.1. Технологическая схема устройства теплоизолирующего слоя из материала «ПЕНОПЛЭКС» на захватке длиной 150 м.**

Завоз, распределение, профилирование и уплотнение песка выравнивающего слоя	Раскладка и закрепление плит «ПЕНОПЛЭКС»	Завоз, распределение, профилирование и уплотнение песка защитного слоя
150 м	150 м	150 м
<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
1. Автосамосвалы – по расчету; 2. Бульдозер – 1; 3. Автогрейдер – 1; 4. Каток – 1.	1. Трассировочный шнур – 1; 2. Лопата совковая – 2; 3. Рулетка длиной 20 м – 1; 4. Стальные стержни диам. 6 мм и длиной 400 мм – 250; 5. Топор – 1; 6. Кувалда – 1.	1. Автосамосвалы – по расчету; 2. Бульдозер – 1; 3. Автогрейдер – 1; 4. Каток – 1.
1. Водители автомашин – по расчету; 2. Машинист бульдозера – 1; 3. Машинист автогрейдера – 1; 4. Машинист катка – 1.	1. Дорожный рабочий 3 разряда – 1; 2. Дорожный рабочий 2 разряда – 2. 3. Геодезист – 1	1. Водители автомашин – по расчету; 2. Машинист бульдозера – 1; 3. Машинист автогрейдера – 1; 4. Машинист катка – 1.

Устройство теплоизолирующего слоя следует выполнять в холодное время года при температуре воздуха ниже 0 градусов по Цельсию при отсутствии метели, шквальных и штормовых ветров.

В выравнивающем и защитном слоях не должно быть мерзлых комьев, поэтому необходимо обеспечивать своевременную заготовку песка, пригодного для этой цели. Как правило для этого используют гидронамывной песок, который складывают в бурты и осушают в тёплое время года. Следует использовать либо талый песок, извлечённый из середины бурта и транспортированный «теплыми» автомашинами, либо сыпучемёрзлый (с влажностью не более 7%).

При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается защитный слой выполнять из фракционированного щебня, крупнообломочного или мёрзлокомковатого грунта, причем при использовании в качестве защитного слоя фракционированного щебня расчетную толщину слоя «ПЕНОПЛЭКСА» необходимо увеличить на 1 см, а для крупнообломочного или мёрзлокомковатого грунта – на 2-3 см.

Плиты доставляются на объект любым подходящим автотранспортом (как правило фурами), после чего разгружаются и складываются в наиболее удобном месте с точки зрения близости к месту производства работ, но так, чтобы не мешать осуществлению других технологических операций.

До начала работ по устройству теплоизолирующего слоя необходимо оградить место производства работ, расставить дорожные знаки в соответствии с ВСН 37-84, направить движение технологического транспорта в объезд зоны производства работ.

## **II.5.4. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ**

*II.5.4.1. Устройство теплоизоляционного слоя из экструзионных вспененных полистирольных плит «ПЕНОПЛЭКС» вручную. Табл. ТЭСН 27–04-018.*

Состав работ:

01. Прием упаковок плит «ПЕНОПЛЭКС» с автомобиля с переноской на расстояние до 50 м.
02. Переноска плит «ПЕНОПЛЭКС» на расстояние до 20 м и укладка первого слоя.
03. Переноска плит «ПЕНОПЛЭКС» на расстояние до 20 м и укладка второго слоя (при двухслойной укладке).
04. Закрепление крайних рядов верхнего слоя плит металлическими стержнями диаметром 6-8 мм, длиной 400 мм.

**Состав бригады:**

- При однослойной укладке: дорожный рабочий 3 разряда – 1 чел.;  
 Дорожный рабочий 2 разряда – 2 чел..
- При двухслойной укладке: дорожный рабочий 3 разряда – 1 чел.;  
 Дорожный рабочий 2 разряда – 4 чел..  
 Геодезист – 1 чел.

### Измеритель: 100 кв.м поверхности.

Наименование и характеристика материалов, строительных работ и конструкций (оборудования)	Ед. измер.	Прямые затраты, руб	В том числе, руб			Затраты труда рабочих строителей, чел.-ч	Средний разряд работы	
			Оплата труда рабочих	Эксплуатация машин				материалы
				Расход материалов	Всего			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Устройство теплоизоляционного слоя из экструзионных вспененных полистирольных плит «ПЕНОПЛЭКС» вручную:</b>								
<b>- в один слой</b>								
Экструзионные вспененные полистирольные плиты «ПЕНОПЛЭКС»	100 кв.м	8,56	8,56	-	-	-	0,90	2,4
Стержни металлические диаметром 6-8 мм, длиной 400 мм	шт	-	-	-	-	П	-	-
<b>- в два слоя</b>								
Экструзионные вспененные полистирольные плиты «ПЕНОПЛЭКС»	100 кв.м	17,28	17,28	-	-	-	1,80	2,1
Стержни металлические диаметром 6-8 мм, длиной 400 мм	шт	-	-	-	-	П	-	-

Примечание: расценки на трудозатраты даны в ценах 2001 г.

## II.5.5. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

*II.5.5.1. Потребность в оборудовании, инструментах и инвентаре при устройстве теплоизолирующего слоя из материала «ПЕНОПЛЭКС» на одну бригаду:*

Наименование	Количество, шт
Нивелир с треногой и рейкой	1
Рулетка длиной 20 м	1
Лопата совковая	2
Трассировочный шнур	1
Топор	1
Кувалда	1
Вагон (бытовка) с обогревом и кладовкой	1
Аптечка	1
Фонарь	1
Радиопереговорное устройство	1
Средства пожаротушения	1 комплект

## II.5.6. УКАЗАНИЯ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

В процессе производства работ по устройству теплоизолирующего слоя должны контролироваться:

- Соответствие поперечных уклонов конструктивных слоев проекту – не реже, чем через 50 м;
- Ровность теплоизолирующего слоя – не реже, чем через 50 м;
- Качество закрепления крайних рядов плит – визуально.
- Ровность выравнивающего слоя – максимальный просвет под 3-х метровой рейкой не должен превышать 5 см в продольном и поперечном направлениях.