

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ДОРОЖНЫЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ «СОЮЗДОРНИИ»**

«Утверждаю»

Директор по науке –

Первый заместитель

генерального директора

ОАО «Союздорнии»



В.М. Юмашев

ПОСОБИЕ

**по проектированию и устройству теплоизолирующих слоев
дорожной одежды из пенополистирольных экструзионных плит
«Экстрол»**

По договору № 126-06-ДО с ООО "ЗЭМ "Экстрол"

Научный руководитель работы, заведующий
лабораторией дорожных одежд, д.т.н., проф.

В.Д.Казарновский

Ответственный исполнитель от лаборатории
дорожных одежд, вед.н.с., к.т.н.

Е.С.Пшеничникова

Балашиха, 2007

Оглавление

	Стр.
Предисловие	3
1. Общие положения.	4
1.1 Область применения.....	4
1.2. Нормативные ссылки.....	4
1.3. Условия эффективного применения теплоизолирующих слоев из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол».....	4
2. Обеспечение морозоустойчивости дорожной конструкции при сезонном промерзании с помощью теплоизолирующего слоя из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол».....	7
2.1. Требования к морозоустойчивости дорожной конструкции	7
2.2. Расчет величины морозного пучения	7
2.3. Требования к пенополистиролам, используемым в дорожных конструкциях	7
2.4. Расчет требуемой толщины теплоизолирующего слоя из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол» при обеспечении морозоустойчивости дорожной конструкции.....	8
2.5 Учет теплоизолирующего слоя из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол» в расчете дорожной одежды на прочность.....	15
2.6 Схемы конструктивных решений дорожных одежд с теплоизолирующим слоем из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол»	18
3. Обеспечение теплозащиты дорожной конструкции, устраиваемой на вечной мерзлоте, с помощью теплоизолирующего слоя из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол».....	21
3.1. Принципы проектирования дорожных конструкций на вечной мерзлоте и условия их применения	21
3.2. Расчет требуемой толщины теплоизолирующего слоя	22
3.3 Учет влияния теплоизолирующего слоя из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол» на прочность дорожной одежды	24
3.4 Схемы конструктивных решений дорожных конструкций, устраиваемых с сохранением грунта в мерзлом состоянии, с использованием теплоизолирующего слоя из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол».....	25
4. Технология и организация устройства теплоизолирующих слоев из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол» при строительстве автомобильных дорог	28
Приложение 1. Справочные данные	30
Приложение 2. Расчет величины морозного пучения.....	35
Приложение 3. Расчет по термическому сопротивлению толщины теплоизолирующего слоя в случае допущения промерзания грунтов земляного полотна на расчетную глубину	40
Приложение 4. Технологическая карта. Устройство теплоизолирующего слоя дорожной одежды.....	43
Приложение 5. Пример расчета.....	48

Предисловие

Настоящее Пособие разработано в соответствии с договором между ООО «Завод экструзионных материалов «Экстрол» и ОАО «Дорожный научно-исследовательский институт «СоюздорНИИ».

Настоящее Пособие разработано в развитие ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд», а также в развитие ВСН 84-89 «Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты». Пособие предназначено для обеспечения возможности проектирования и строительства дорог с теплоизолирующими слоями из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол» как в зоне сезонного промерзания, так и в зоне сезонного протаивания.

По мере накопления практического опыта применения теплоизолирующих слоев из плит «Экстрол» в конструкциях дорожных одежд Пособие может быть дополнено и переработано.

Пособие разработали:

д-р технич. наук, проф. В.Д.Казарновский,

канд. технич. наук Е.С.Пшеничникова,

д-р технич. наук, проф. С.Е.Гречищев

В Пособии были использованы материалы д-ра технич. наук, проф. И.А.Золотаря, д-ра технич. наук В.И.Рувинского.

Замечания, пожелания и возникающие вопросы по «Пособию» просьба адресовать: 143900, г.Балашиха-6, Московская обл., ш.Энтузиастов, 79, Союздорнии

1. Общие положения

1.1. Область применения.

Настоящее Пособие предназначено для проектирования и строительства автомобильных дорог с теплоизолирующими слоями из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол» в I – IV дорожно-климатических зонах. Пособие распространяется на дороги общего пользования всех технических категорий.

1.2. Нормативные ссылки.

1. СНиП 2.05.02-85 . Автомобильные дороги.
2. СНиП 3.06.03-85 . Автомобильные дороги
3. ВСН 84-89. Изыскания, проектирование и строительство дорог в районах распространения вечной мерзлоты.
4. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд.
5. ВСН 37-84. Инструкция по организации движения и ограждению мест производства дорожных работ

1.3. Условия эффективного применения теплоизолирующих слоев из пенополистирольных плит «Экстрол».

1.3.1. Теплоизолирующие слои из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол» в конструкции дорожной одежды могут применяться:

- как альтернатива устройству традиционных морозозащитных слоев, предназначенных для снижения деформаций пучения при промерзании конструкции, в которой в пределах глубины промерзания имеются пучинистые грунты;
- как альтернатива устройству повышенных насыпей (выше отвечающих условию снегонезаносимости) или устройству теплоизоляции из торфа в зоне вечной мерзлоты, обеспечивающих реализацию I-ого принципа проектирования — сохранения вечномерзлого грунта в основании (или теле) насыпи с исключением просадок земляного полотна при оттаивании его основания (или мерзлой части насыпи).

1.3.2. Первое направление использования теплоизолирующего слоя может быть реализовано на дорогах общей сети и ведомственных дорогах в I - IV дорожно-климатических зонах при наличии сезонного промерзания грунтов с повышенной пучинистостью.

Второе направление может быть реализовано на дорогах общей сети и ведомственных дорогах, расположенных в зоне вечной мерзлоты.

1.3.3. Эффект от применения теплоизолирующего слоя, используемого для снижения морозного пучения, может быть получен за счет:

- уменьшения объема качественных материалов, используемых в дорожной одежде для обеспечения ее морозоустойчивости и, соответственно, возможности использования в верхней части земляного полотна местных пучинистых грунтов;
- повышения долговечности конструкции вследствие исключения периодически возникающих деформаций морозного пучения и просадки при оттаивании;
- возможности понижения рабочих отметок насыпей на участках, где при традиционных конструкциях действуют ограничения СНиП 2.05.02-85 по минимальному возвышению насыпи над уровнем подземных или поверхностных вод, а также над уровнем земли;
- понижения расчетной влажности грунта земляного полотна и соответствующего повышения расчетных значений прочностных характеристик грунта за счет снижения влагонакопления в процессе промерзания;
- снижения требуемой толщины дренажного слоя за счет исключения поступления воды снизу при оттаивании земляного полотна;
- исключения необходимости замены грунта в основании дорожной одежды в выемке.

1.3.4. Эффект от применения теплоизолирующего слоя для предотвращения оттаивания грунта, используемого в конструкции в мерзлом состоянии в зоне вечной мерзлоты, может быть получен за счет:

- обеспечения возможности уменьшения рабочих отметок насыпей, сооружаемых по I-му принципу в зоне вечной мерзлоты с соответствующим уменьшением объемов земляных работ, что позволяет уменьшить объем привозных грунтов;
- сокращения объемов замены грунтов в выемках;
- снижения экологического ущерба при строительстве дорог в северных районах за счет уменьшения объемов выработок грунтов а также уменьшения полосы отвода при снижении высоты насыпи;

- обеспечения возможности использования в земляном полотне грунтов с любой степенью увлажнения в виде мерзло-комковатого материала;
- повышения надежности и долговечности дорожной конструкции, запроектированной по I-му принципу.

1.3.5. Конструктивные решения с использованием теплоизолирующих слоев должны быть обоснованы соответствующими расчетами, указанными в настоящем Пособи.

2. Обеспечение морозоустойчивости дорожной конструкции при сезонном промерзании с помощью теплоизолирующего слоя из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол»

2.1. Условия морозоустойчивости дорожной конструкции (по ОДН 218.046-01).

2.1.1. Морозоустойчивость дорожной конструкции оценивается по расчетной величине ее морозного пучения. Морозоустойчивость конструкции считается обеспеченной при условии:

$$l_{\text{пуч}} \leq l_{\text{пуч}}^{\text{доп}}, \quad (2.1)$$

где: $l_{\text{пуч}}$ – расчетная величина морозного пучения конструкции;

$l_{\text{пуч}}^{\text{доп}}$ – допустимая величина морозного пучения, устанавливаемая по табл.2.1.

Таблица 2.1 (Табл.4.3 ОДН 218.046-01)

Тип дорожной одежды	Вид покрытия	Допустимое морозное пучение, см
Капитальные	Асфальтобетон	4
	Цементобетон	3
Облегченные	Асфальтобетон	6
Переходные	Переходное	10

2.2. Расчет величины морозного пучения грунтов земляного полотна

2.2.1. Мероприятия по снижению или исключению морозного пучения грунтов земляного полотна, включая устройство теплоизолирующих слоев, должны рассматриваться в тех случаях, когда определенная расчетом величина морозного пучения земляного полотна дорожной конструкции превышает допустимые значения, указанные в табл.2.1.

2.2.2. Для определения расчетной величины морозного пучения конструкции $l_{\text{пуч}}$ могут быть использованы методики, предусмотренные в ОДН 218.046-01:

- 1 методика, основанная на использовании осредненной для заданных условий величины морозного пучения традиционных конструкций, полученной по результатам региональных наблюдений, с введением корректирующих табличных коэффициентов (метод Ленфилиала Союздорнии, Приложение 2);
- 1 методика, основанная на использовании определяемой экспериментально величины коэффициента влагопроводности грунта (метод проф. И.А.Золотаря, изложена в ОДН 218.046-01).

2.3. Требования к пенополистиролам, используемым в дорожных конструкциях

Теплоизолирующие материалы, применяемые в дорожных конструкциях, должны:

- сохранять теплоизолирующие свойства под воздействием влаги, температуры и агрессивных вод в течение всего периода эксплуатации дороги;
- быть морозостойкими (определяют циклическим промораживанием в зависимости от условий строительства);
- быть биостойкими (определяют на основе химического анализа);
- быть нетоксичными (заключение СЭС);
- обладать технологичностью в работе (размеры плит, удобные в работе, возможность скрепления краев плит между собой, например, шпунтовка и др.);
- выдерживать нагрузки, возникающие при укладке и уплотнении вышележащих слоев дорожной одежды (испытание на прочность при сжатии), а также от вышележащих слоев насыпи и транспорта во времени (испытание длительно действующей нагрузкой);
- обладать физическими, теплофизическими и прочностными характеристиками, приведенными в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Не более		Не менее	
Водопоглощение, % (ГОСТ 17177)	Теплопроводность, Вт/(мК) (ГОСТ 30256)	Сопротивление сжатию при 10% линейной деформации, МПа (ГОСТ 17177)	Предел прочности при статическом изгибе, МПа (ГОСТ 17177)
0,45	0,032	0,40	0,6

2.4. Расчет требуемой толщины теплоизолирующего слоя из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол» при обеспечении морозоустойчивости дорожной конструкции

2.4.1. Общие положения.

2.4.1.1. Теплоизолирующие слои из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол» следует применять для повышения морозоустойчивости дорожной конструкции в неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях, характерных для 2 и 3 типа местности по увлажнению (СНиП 2.05.02-85). В зависимости от особенностей конкретного участка возможно либо не допускать промерзания грунтов насыпи и ее основания и исключить таким образом морозное пучение грунтов полностью, либо уменьшить глубину промерзания и, соответственно, пучение до допустимой его величины.

Теплоизолирующие слои из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол» могут быть применены как в насыпях, отсыпанных из пучиноопасных грунтов, так и в выемках, основание которых сложено пучиноопасными грунтами.

2.4.1.2. Для расчета требуемой толщины теплоизолирующего слоя могут применяться:

- метод, основанный на расчете по термическому сопротивлению конструкции (В.И.Рувинский);
- метод, использующий в качестве характеристики грунта коэффициент влагопроводности, определяемый экспериментально (И.А.Золотарь).

2.4.2. Расчет по термическому сопротивлению

2.4.2.1. Требуемую толщину теплоизолирующего слоя $h_{\text{п}}$ в случае недопущения промерзания основания определяют по графику рис.2.1. исходя из требуемого $R_{\text{од(тр)}}$ и фактического $R_{\text{од(ф)}}$ термических сопротивлений дорожной одежды. Расчет толщины теплоизолирующего слоя в случае допущения промерзания грунтов земляного полотна на расчетную глубину приведен в Приложении 3.

2.4.2.2. Требуемое термическое сопротивление дорожной одежды $R_{\text{од(тр)}}$ вычисляют по формуле:

$$R_{\text{од(тр)}} = R_{\text{пр}} \cdot K_{\text{од}} \cdot \delta, \quad \text{м}^2 \text{ К/Вт} \quad (2.2)$$

где $R_{\text{пр}}$ - приведенное термическое сопротивление, определяемое по таблице п.2.5;

$K_{\text{од}}$ - коэффициент, учитывающий срок службы дорожной одежды между ремонтами (табл. 2.3);

) – понижающий коэффициент, для II дорожно-климатической зоны) = 1,0; для III) = 0,95; для IV) = 0,90.

2.4.2.3. Приведенное термическое сопротивление определяют, используя карту (рис.2.2) при расположении объекта в Европейской части РФ и в Западной Сибири, а при расположении объекта в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке - таблицу 2.4. По карте устанавливают номер расчетной изолинии, отвечающей положению объекта в Европейской части РФ и в Западной Сибири. При расположении объекта в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке по таблице 2.4. устанавливают номер расчетной изолинии исходя из среднегогодового значения глубины промерзания грунтов. По таблице 2.5 определяют величину $R_{\text{пр}}$.

2.4.2.4. Фактическое термическое сопротивление дорожной одежды определяют по формуле:

$$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{i\#n_{од}} h_{од(i)} / \lambda_{од(i)} + 1/\alpha \quad (\text{м}^2\text{K})/\text{Вт} \quad (2.3)$$

где: $n_{од}$ - число конструктивных слоев дорожной одежды без теплоизолирующего слоя;

$h_{од(i)}$ - толщина i -го слоя, м;

$\lambda_{од(i)}$ - коэффициент теплопроводности i -го слоя в мерзлом состоянии, Вт/(мК). При отсутствии фактически измеренных $\lambda_{од(i)}$ допускается включать в расчет значения, приведенные в табл. П.1.2 (см. Приложение 1). Для песков дренирующих слоев следует принимать $\lambda_{од(i)}$ равным среднеарифметическому значению коэффициентов теплопроводности песка в талом и мерзлом состоянии;

α – коэффициент теплообмена. Допускается принимать $1/\alpha = 0,04 \text{ м}^2 \text{ K}/\text{Вт}$.

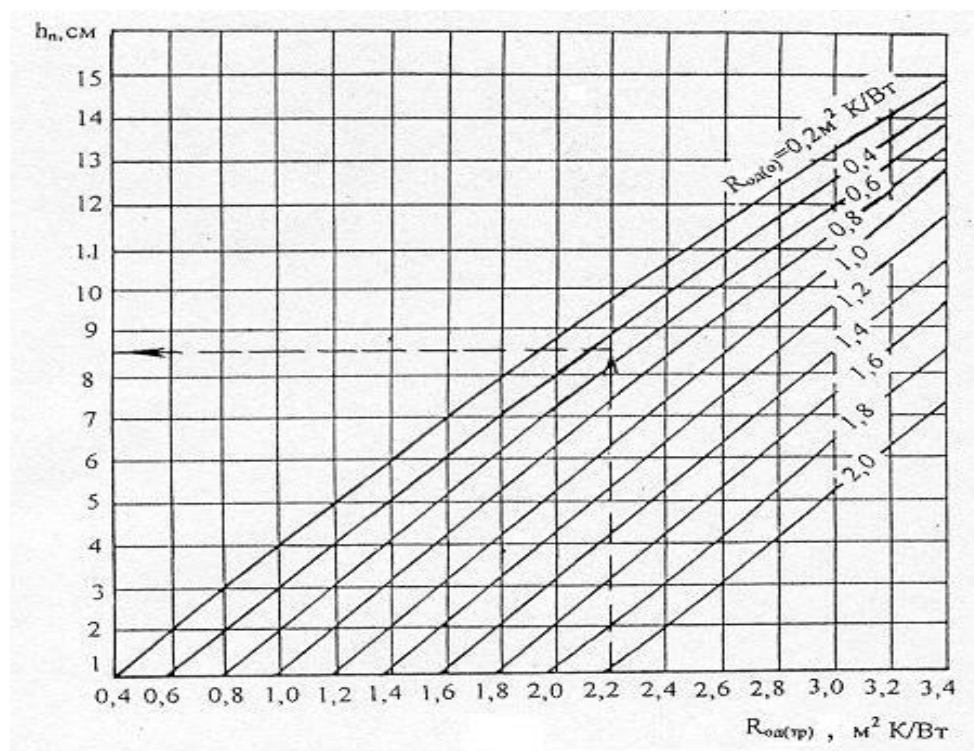


Рис.2.1. График для определения требуемой толщины теплоизолирующего слоя из пенополистирольных плит «Экстрол».

Таблица 2.3

№ изолинии на карте (рис.2.2)	Значение коэффициента $K_{од}$ при сроке службы дорожной одежды между капитальными ремонтами		
	менее 10 лет	10 лет	20 лет
I - II	0,70	0,85	1,0
III - X	0,80	0,90	1,0

Таблица 2.4.

Среднегодовое значение глубины промерзания грунтов в поле, очищенном от снега, м.	Номер кривой
0,60	I
0,80	II
1,00	III
1,20	IV
1,40	V
1,60	VI
1,80	VII
2,00	VIII
2,20	IX
2,40	X

Таблица 2.5

Номер изолинии на карте	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
$R_{пр}$	0,95	1,30	1,65	1,90	2,20	2,50	2,70	2,90	3,05	3,25

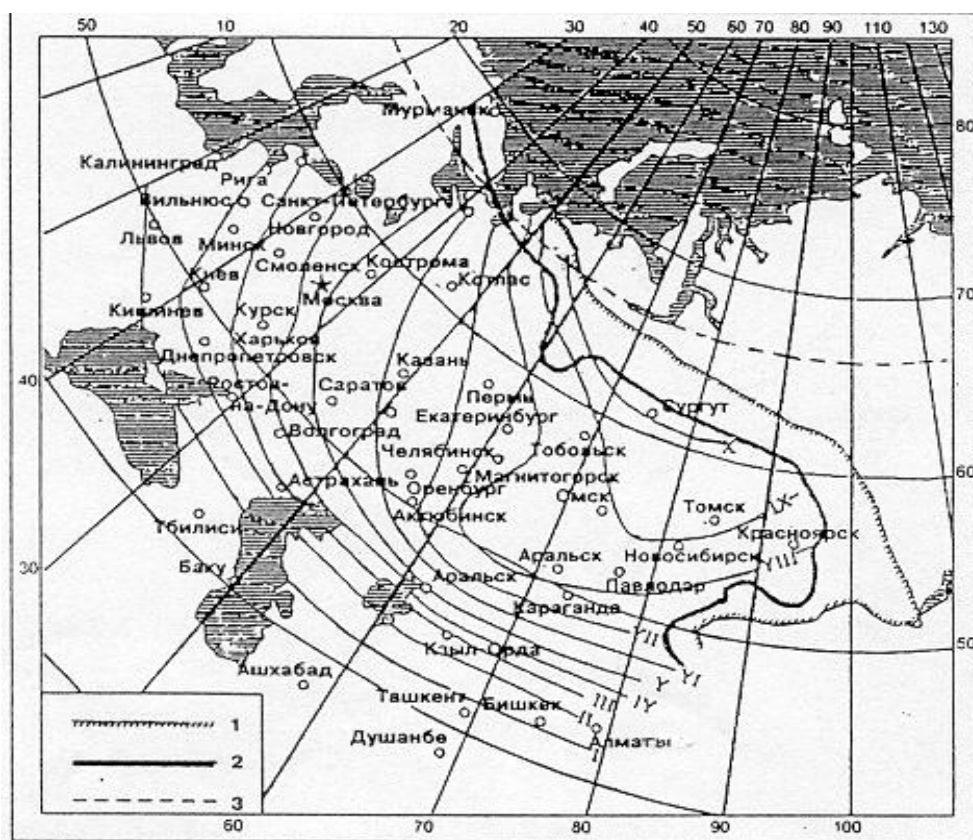


Рис.2.2. Карта с изолиниями для определения приведенных значений термического сопротивления дорожной одежды. I – X – номера изолиний; 1 – граница сплошного распространения вечномёрзлых грунтов; 2 – то же, островного; 3 – Северный полярный круг.

2.4.3. Расчет с использованием коэффициента влагопроводности

2.4.3.1. Требуемую толщину (h_s) теплоизолирующего слоя из пенополистирольных плит «Экстрол» устанавливают из соотношения:

$$h_s = \frac{150,6 \quad 0,0027\sigma \quad h_{np}^{\partial on}}{13,93 \quad 0,0067\sigma}, \text{ см} \quad (2.4.)$$

где: $h_{np}^{\partial on}$ – допустимая глубина промерзания, см;

σ – характеристика суровости зимнего периода (сумма градусочасов отрицательной температуры, умноженная на 0,001), назначаемая по табл.П.1.3 (см. Приложение 1).

2.4.3.2. Величину допустимой глубины промерзания $h_{np}^{\partial on}$ определяют по формуле:

$$h_{np}^{\partial on} = \frac{l_{пуч}^{\partial on} d}{\rho_d [1,09(W_{веспр} \quad W_{нз}) \quad (W_{нв} \quad W_{нз})]}, \text{ см} \quad (2.5.)$$

где: $l_{пуч}^{\partial on}$ – допустимая величина пучения (табл.2.1), см;

d – плотность воды, г/см³;

ρ_d – плотность сухого грунта, г/см³;

$W_{веспр}$ – средняя весенняя весовая влажность грунта, доли единицы;

$W_{нз}$ – весовая влажность по незамерзшей воде (табл.2.6), доли единицы;

$W_{нв} = (\frac{1}{\rho_d} \quad \frac{1}{\rho_s})$ – полная влагоемкость в долях единицы;

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³;

2.4.3.3. Среднюю весеннюю весовую влажность грунта вычисляют по формуле:

$$W_{веспр} = W_h + [W_n + \Delta W_{отн}(W_{нв} - W_n) - W_h]C, \quad (2.6.)$$

где: W_h – влажность грунта по жидкой фазе в зоне первичного льдовыделения, назначаемая по табл.2.6;

W_n – начальная влажность грунта;

$\Delta W_{отн}$ – отношение осеннего приращения влажности к максимально возможной величине приращения влажности грунта, устанавливаемое по графику рис.2.3 в зависимости от параметров F и M ;

C – коэффициент, определяемый по графику рис.2.4 в зависимости от параметра Z .

2.4.3.4. Параметры F , M и Z , необходимые для использования графиков, определяют соответственно по формулам:

$$F = \frac{\kappa_{вл} \quad 2_{вл}}{h_g^2}, \quad (2.7.)$$

$$M = \frac{160! h_{до}}{h_е}, \quad (2.8.)$$

$$Z = \frac{\alpha}{2\sqrt{\kappa_{вп}}}, \quad (2.9.)$$

где: $\kappa_{вп}$ – коэффициент влагопроводности, устанавливаемый экспериментально, см²/час;

$t_{ел}$ – продолжительность периода осеннего влагонакопления, час, принимаемая по табл.П.1.3 (см. Приложение 1);

$h_е$ – расчетное удаление верха земляного полотна от уровня грунтовых или поверхностных вод, см;

$h_{до}$ – суммарная толщина слоев дорожной одежды, см;

α – характеристика слоя промерзания грунта земляного полотна.

Таблица 2.6

Значения влажности W_h и $W_{нз}$ для различных грунтов

Грунт	W_h	$W_{нз}$
Песок пылеватый	0,03 – 0,04	0,02
Супесь тяжелая пылеватая	0,09 – 0,01	0,06
Суглинок легкий пылеватый	0,12 – 0,13	0,08
Суглинок тяжелый пылеватый	0,13 – 0,14	0,09
Глина пылеватая	0,19 – 0,21	0,16

2.4.3.5. Величину α для случаев $\kappa_{вп} \leq 2,0$ см²/час устанавливают по выражению:

$$\alpha = 1,24 + \sigma^{0,079} - 0,05h_s \quad (см) \quad (2.10.)$$

Для случаев $\kappa_{вп} 2,1 \div 5,0$ см²/час используют выражение:

$$\alpha = 1,24 + 0,72 \ln \sigma - 0,05h_s \quad (см) \quad (2.11.)$$

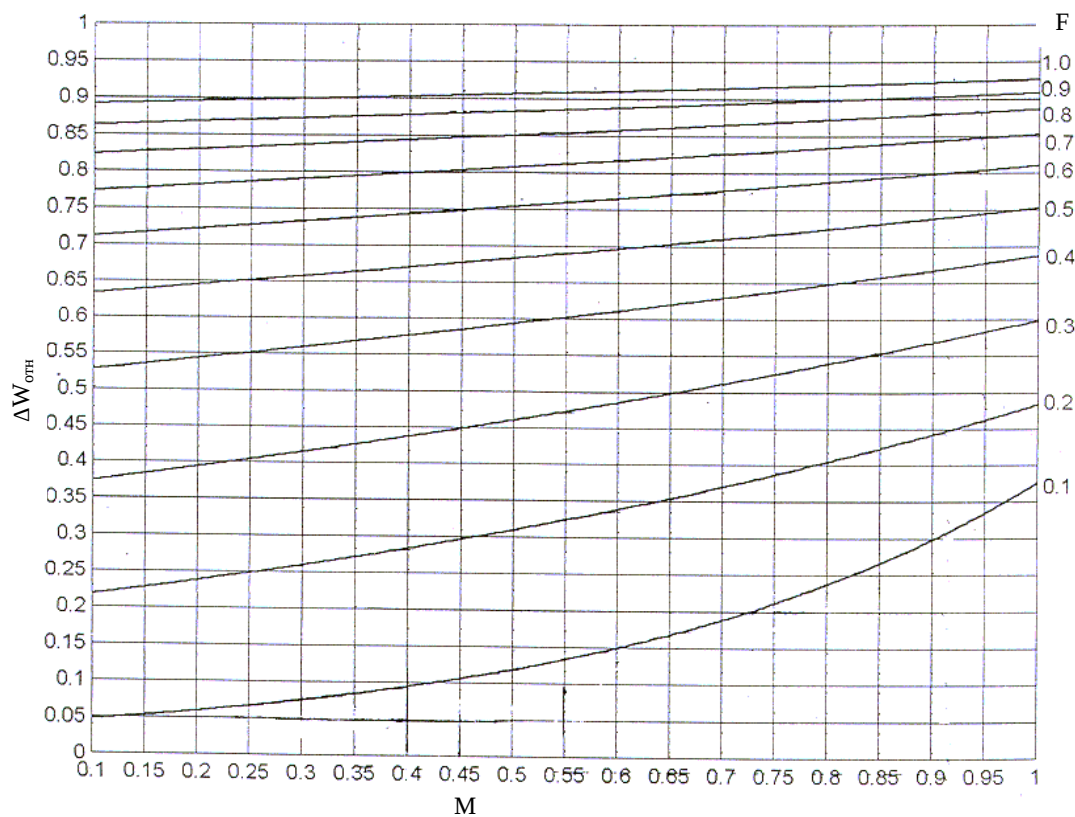


Рис. 2.3. Номограмма для определения $\Delta W_{\text{отн}}$ при значениях F и M .

C , доли
единицы

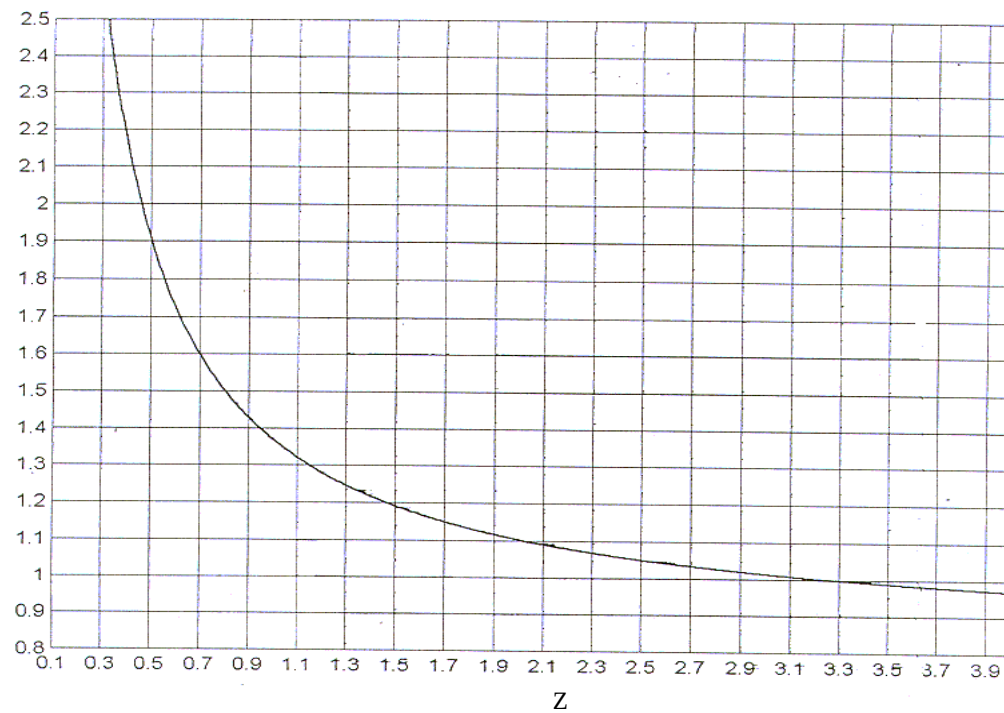


Рис.2.4. График для определения коэффициента C , используемого для вычисления весенней влажности.

2.5 Учет теплоизолирующего слоя из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол» в расчете дорожной одежды на прочность.

2.5.1. Проверка на прочность конструкции дорожной одежды с теплоизолирующим слоем из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол» производится в соответствии с расчетами, предусмотренными ОДН 218.046-01 (для нежестких дорожных одежд).

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

$$E_{\text{общ}}^T = \frac{E_n}{1 + \frac{2}{\pi} \arctg\left(\frac{h_n}{D_o}\right) \frac{E_n}{E_{\text{э}}}}, \quad (2.12)$$

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

$E_{\text{э}}$ – модуль упругости материала «Экстрол», МПа;

D_o – расчетный диаметр отпечатка колеса, см;

h_n – толщина плит «Экстрол», см.

Практическое определение величины расчетного модуля $E_{\text{общ}}^T$ можно осуществить с помощью номограммы (рис.2.5), построенной по зависимости (2.12).

2.5.2. При конструировании дорожных одежд со слоями из плит «Экстрол» следует учитывать, что, исходя из технологических особенностей устройства слоев, над плитами должен быть устроен защитный слой из дискретного материала, предохраняющий плиты от воздействия построечной техники, а непосредственно под плитами – выравнивающий слой из песчаного грунта, толщиной 5 – 10 см. Если согласно проекту плиты предполагается укладывать на песчаный грунт (земляное полотно запроектировано из песка, либо под плитами расположен дренирующий слой), то выравнивающий слой не требуется. Защитный слой целесообразно устраивать из дренирующего материала. При расчете дорожной одежды на прочность выравнивающий слой допускается не учитывать.

2.5.3. При применении в конструкции дорожной одежды теплоизолирующего слоя из плит «Экстрол» следует выполнить проверку этого слоя на прочность при одноосном сжатии. Проверка ведется для условий строительства дорожной одежды.

На основе этого расчета определяют минимальную толщину защитного слоя над плитами «Экстрол».

Проверка ведется по зависимости:

$$Z_T \geq Z_T^{\text{дон}}, \quad (2.13)$$

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

$Z_T^{\text{дон}}$ – допустимая глубина по условию прочности слоя на одноосное сжатие.

Приблизительно величину $Z_T^{\text{дон}}$ устанавливают по формуле:

$$Z_T^{\text{дон}} = D \sqrt{\frac{k 2p R}{2,5R}}, \text{ м} \quad (2.14)$$

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

p – давление от расчетного колеса на защитный слой, МПа;

R – прочность материала «Экстрол» на одноосное сжатие, МПа;

k – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,3.

В случае если $Z_T < Z_T^{\text{дон}}$, прочность материала не обеспечена и следует увеличить толщину защитного слоя.

2.5.4. При расчете параметры нагрузки выбираются в зависимости от применяемой техники и технологии устройства слоев, располагаемых над плитами «Экстрол».

2.5.5. В случае применения техники на гусеничном ходу в формулу (2.14) вместо D следует подставить величину $2b$, равную ширине гусеницы и получаемое по формуле значение $Z_T^{\text{дон}}$ увеличить на 20%.

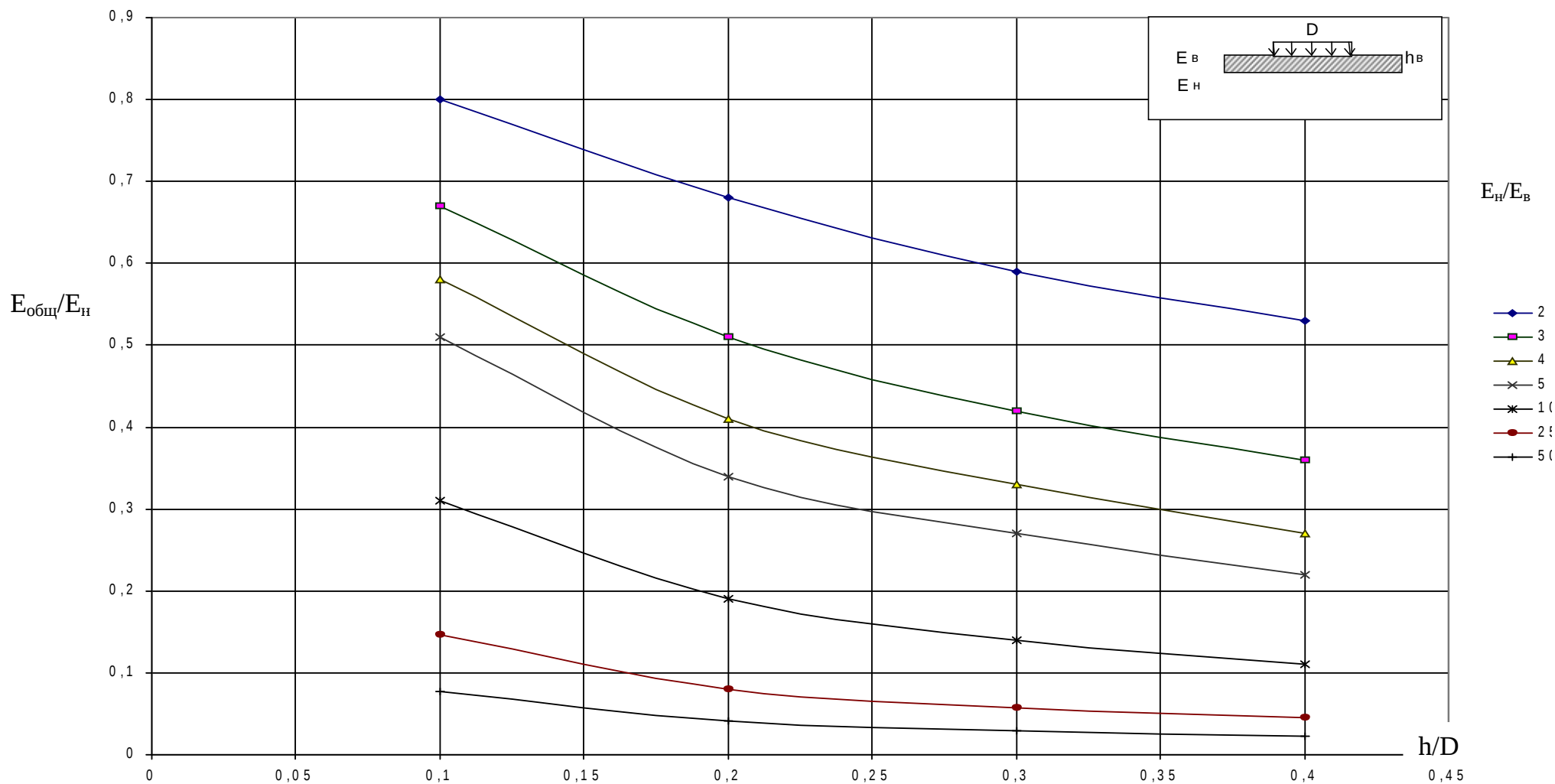


Рис. 2.5. Номограмма для расчета общего модуля двухслойной системы "теплоизолятор - подстилающий грунт".
 $h_{\text{б}}$ – толщина плит «Экстрол»; $E_{\text{б}}$ - модуль упругости плит «Экстрол»; $E_{\text{н}}$ - модуль упругости грунта.

2.6. Схемы конструктивных решений дорожных конструкций с теплоизолирующими слоями из пенополистирольных плит «Экстрол»

2.6.1. Возможные варианты конструкции дорожных одежд с теплоизолирующим слоем из пенополистирольных плит «Экстрол» представлены на рис.2.6.

Слой из плит «Экстрол» со смежными слоями (защитным и выравнивающим) образуют единый дополнительный слой основания (ДСО), который может кроме теплоизолирующей функции при необходимости выполнять функцию дренирующего слоя.

Конструкции предполагают необходимость:

- обеспечения эффективности полной или частичной теплозащиты пучинистого грунта земляного полотна от промерзания;
- обеспечения дренирования дорожной одежды;
- учета снижения расчетного модуля упругости земляного полотна, защищаемого слоем из плит «Экстрол»;
- защиты слоя из плит «Экстрол» от механических повреждений в процессе строительства;
- учета двухмерности схемы промерзания земляного полотна.

2.6.2. Для исключения повышенной опасности гололедообразования необходимо располагать теплоизолирующий слой из пенополистирольных плит «Экстрол» на глубине от поверхности покрытия, которая определяется в зависимости от среднемноголетней глубины промерзания грунтов в поле, очищенном от снега:

не менее 0,5 м в районах с глубиной промерзания менее 2,0 м;

не менее 0,6 м в районах с глубиной промерзания 2,0 – 2,2 м;

не менее 0,7 м в районах с глубиной промерзания более 2,2 м;

Необходимая ширина теплоизолирующего слоя принимается равной не менее, чем на 2,0-1,5 м больше ширины проезжей части или равной ширине земляного полотна по верху. При необходимости требуемая ширина может быть уточнена на основе специальных расчетов по двухмерной задаче (учет двухмерности).

2.6.2. Необходимая ширина теплоизолирующего слоя принимается равной не менее, чем на 2,0-1,5 м больше ширины проезжей части или равной ширине земляного полотна по верху. При необходимости требуемая ширина может быть уточнена на основе специальных расчетов по двухмерной задаче (учет двухмерности).

2.6.3. Дренирование дорожной одежды с теплоизолирующим слоем обеспечивается устройством дренирующего слоя, который может предусматриваться в трех вариантах:

- в виде песчаного слоя, располагаемого под теплоизолирующим;
- в виде песчаного слоя, вмещающего в себя теплоизолирующий слой;
- в виде дренирующего слоя из геотекстиля, обладающего продольной водопроницаемостью.

2.6.4. Толщина дренирующего слоя определяется расчетом по методике, изложенной в ОДН 218.046-01. Если теплоизолирующий слой предусматривает исключение промерзания пучинистого грунта земляного полотна, из расчета дренирующего слоя исключается учет поступления воды снизу.

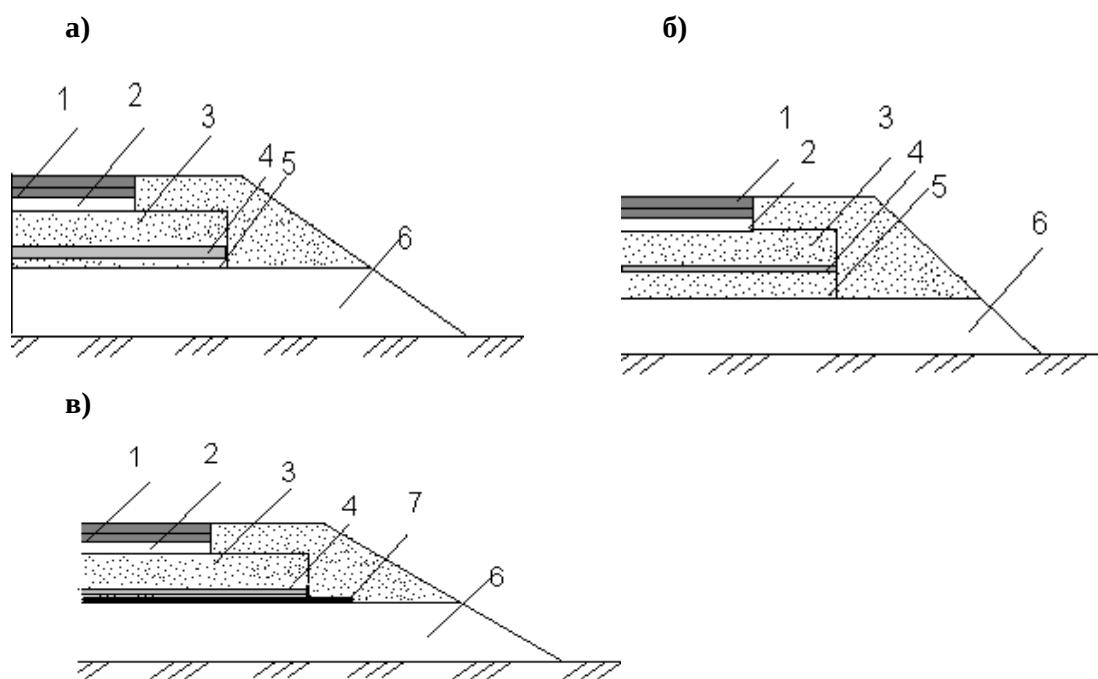


Рис.2.6. Схемы конструкций дорожной одежды с применением теплоизолирующего слоя, включающего пенополистирольные экструзионные плиты «Экстрол».

1 – двухслойное покрытие; 2 – несущее основание дорожной одежды; 3 – защитный слой; 4 – пенополистирольные плиты «Экстрол»; 5 – выравнивающий слой; 6 – земляное полотно, отсыпанное из пучиноопасного грунта; 7 – геотекстиль.

Схема рис.2.6 а) предусматривает исключение промерзания земляного полотна. В этом случае подток воды в земляное полотно снизу не учитывают. Плиты укладывают на выравнивающий слой толщиной 5-10 см. На этот вариант следует ориентироваться при устройстве выемок.

Схема рис. 2.6.б) предусматривает уменьшение промерзания земляного полотна и, соответственно, уменьшение морозного пучения до допустимой величины (табл.2.1.). В этом случае следует учитывать подток воды в земляное полотно снизу и устраивать под плитами дренирующий слой.

Схема 2.6. в) отличается от конструкции рис. 2.6.б) только тем, что в качестве дренирующего слоя (играющего также роль выравнивающего слоя под теплоизолятором) используется геотекстиль, обладающий продольной водопроницаемостью.

2.6.5. Указанные варианты конструкции могут быть применены как для нежестких, так и для жестких дорожных одежд.

3. Обеспечение теплозащиты дорожной конструкции, устраиваемой на вечной мерзлоте, с помощью теплоизолирующего слоя из пенополистирольных экструзионных плит «Экстрол»

3.1. Принципы проектирования дорожных конструкций на вечной мерзлоте и условия их применения

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

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 (расчетное состояние грунтов основания насыпи – мерзлое).

Второй принцип проектирования предусматривает допущение оттаивания грунтов ниже подошвы насыпи на расчетную глубину в период эксплуатации дороги с учетом допустимой осадки основания в зависимости от типа покрытия (расчетное состояние грунтов основания – талое).

Третий принцип проектирования предусматривает предварительное оттаивание и осушение мерзлых грунтов основания.

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

3.1.2. Первый принцип применяют в 1-ой и 2-ой подзонах I дорожно-климатической зоны (ВСН 84-89), которые примерно соответствуют зоне сплошного распространения вечной мерзлоты, при следующих условиях:

- температура грунтов на границе 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 (СНиП 2.05.02-85).

3.1.3. Второй принцип может применяться во всех дорожно-климатических подзонах при условии залегания в основании насыпи минеральных грунтов II- III категорий просадочности и торфяников I - III категорий просадочности.

3.1.4. Третий принцип применяют в 3-ей подзоне I-ой дорожно- климатической зоны при наличии легкоосушаемых грунтов, среднегодовая температура которых выше — 1,5. С.

Таблица 3.1

Категория просадочности грунта	Тип грунта по льдистости и просадочности в сезоннооттаивающем слое и подстилающей вечномерзлой толще	Отношение объема прослоек льда к объему мерзлого грунта, дол.ед
I	Без ледяных включений, непросадочный	0 - 0,01
II	Малольдистый, малопросадочный	0,01 – 0,1
III	Льдистый, просадочный	0,1 – 0,4
IV	Сильнольдистый, сильнопросадочный	0,4 – 0,6
V	С крупными включениями подземного льда, чрезмернопросадочный	0,6 - 1

3.1.5. Принцип проектирования выбирают на основе технико-экономического сравнения вариантов, исходя из мерзлотно-грунтовых и климатических условий участка трассы с учетом наличия соответствующих материалов (геотекстильных, теплоизоляционных и т.п.), а также качественных грунтов, пригодных для возведения насыпи.

3.2. Расчет требуемой толщины теплоизолирующего слоя

3.2.1. Расчет толщины теплоизолирующего слоя, необходимой для исключения протаивания вечной мерзлоты под насыпью или в ее теле производится как составная часть теплотехнического расчета многослойной конструкции.

Расчет выполняется отдельно для центральной части полотна и для откосных частей насыпи.

3.2.2. Для расчета центральной части используется расчетная схема, представленная на рис.3.1. Схема предполагает, что разрез конструкции над поверхностью массива грунта, сохраняемого в мерзлом состоянии, включает N слоев. Номера слоев изменяются от $i=1$ для первого сверху слоя до $i=N$ для последнего над мерзлым массивом слоем.

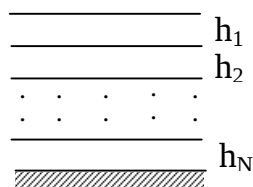


Рис.3.1. Расчетная схема для центральной части дорожной конструкции.

Каждый i -ый слой характеризуется толщиной (h_i , м), объемной теплоемкостью (c_i , Дж/м³·К), коэффициентом теплопроводности (λ_i , Вт/м·К), объемной влажностью (W_i , доли единицы).

Внешние факторы, определяющие тепловое воздействие характеризуются средней за лето температурой воздуха ($T_n, ^\circ\text{C}$), продолжительностью периода с положительными температурами (τ_s , сек).

3.2.3. Выражения для расчета толщины нижнего оттаивающего слоя, являющегося последним ($i=N$) в пакете, имеет вид:

$$h_N = \begin{cases} \sqrt{\frac{2\lambda_N T_n \tau_s + \tau_{N+1}}{c_N T_n W_N L}} \beta_N 2S_N^2 + \beta_N 2S_N, & \text{если } \tau_{N+1} \geq \tau_s \\ 0, & \text{если } \tau_{N+1} < \tau_s \end{cases} \quad (3.1)$$

где: L – теплота плавления льда ($L=332 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3$)

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

$$S_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1} 2h_1 + \frac{\lambda_i}{\lambda_2} 2h_2 + \dots + \frac{\lambda_i}{\lambda_{i+1}} 2h_{i+1}, \quad (\text{при } 1 \leq i \leq N, h_0 = \tau_0 = 0)$$

$$\mu_i = \frac{W_i L}{c_i T_n W_i L}, \quad (\text{при } 1 \leq i \leq N).$$

3.2.4. Определение необходимой толщины слоя из плит «Экстрол», включаемого в конструкцию, запроектированную по условию сохранения мерзлоты, производится подбором по формулам п.3.2.3 при условии, что количество, толщина и теплофизические характеристики остальных слоев конструкции определены по тем или иным соображениям (высота насыпи, прочность дорожной одежды, технологические ограничения).

3.2.5. При выборе оптимальной конструкции следует учитывать, что наибольший эффект теплозащиты мерзлого массива достигается в том случае, если слой из плит «Экстрол» является предпоследним ($N-1$), а в последнем слое используется грунт с высокой влажностью (например, торф).

3.2.6. Расчет требуемого для сохранения мерзлоты теплоизолирующего слоя конструкции со стороны откосных частей осуществляется по специальной методике, основанной на двумерной теплофизической задаче, (например, программа TMFLAT «Расчет температурного режима тела и оснований инженерных сооружений», ОАО ЦНИИС, лаборатория инженерной теплофизики).

3.3. Учет влияния теплоизолирующего слоя из пенополистирольных плит «Экстрол» на прочность дорожной одежды

3.3.1. При расположении слоя из пенополистирольных плит «Экстрол» на глубине более 1,5 м от поверхности покрытия ($Z \geq 1,5$ м рис. 3.2), наличие мерзлого слоя с высоким модулем упругости, расположенного под пенополистиролом, и низко модульного теплоизолирующего слоя в расчете дорожной одежды на прочность не учитывается. В этом случае в качестве расчетного модуля грунта принимается модуль упругости грунта, расположенного над теплоизолирующим слоем.

3.3.2. При расположении слоя плит «Экстрол» ближе 1,5 м от поверхности покрытия для учета их влияния на напряженное состояние в расчете принимают модуль упругости подстилающего грунта, определяемый по формуле:

$$E_{cp} = \frac{E_m 2h_m}{h_n} \frac{E_n 2h_n}{h_m} \quad (3.2)$$

где: E_m – модуль мерзлой толщи;

E_n – модуль материала «Экстрол»;

h_m – условная расчетная толщина мерзлого слоя, см;

h_n – толщина плит «Экстрол», см;

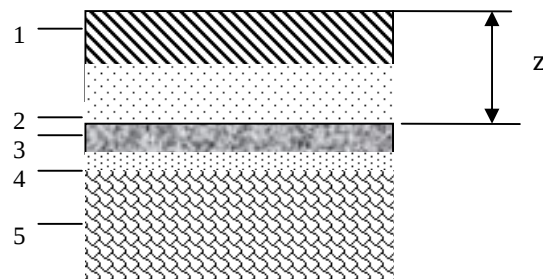


Рис. 3.2. Расчетная схема для определения эквивалентного модуля упругости дорожной одежды.

1 – дорожная одежда; 2 – защитный слой над плитами «Экстрол»; 3 – плиты «Экстрол»;

4 – выравнивающий слой из песка под плитами «Экстрол»; 5 – мерзлый грунт.

3.3.3. Расчетную толщину мерзлого слоя h_m в выражении (3.2) определяют по формуле:

$$h_m = 1,5 - Z_1, \text{ см} \quad (3.3)$$

где: Z_1 – расстояние от поверхности покрытия до поверхности толщи, сохраняемой в мерзлом состоянии, см.

Влияние выравнивающего слоя из песка под плитами «Экстрол» на прочность конструкции не учитывается.

3.3.4. Если значение модуля упругости, определяемое по формуле (3.2), окажется больше модуля грунта, расположенного над слоем плит, за расчетный модуль грунтового массива принимается модуль грунта, расположенного над слоем.

3.4. Схемы конструктивных решений дорожных конструкций, устраиваемых с сохранением грунта в мерзлом состоянии, с использованием теплоизолирующего слоя из пенополистирольных плит «Экстрол»

3.4.1. В качестве принципиальных вариантов конструктивных решений приняты следующие:

- 1 сохранение в мерзлом состоянии основания насыпи (рис.3.3 а, б, е);
- 1 сохранение в мерзлом состоянии основания и части тела насыпи (рис.3.3 в, г, д).

Высота насыпи назначается по расчету на снегонезаносимость. Предлагаемые конструкции могут быть устроены как с цементобетонным сборным, так и с асфальтобетонным покрытием. Во всех случаях пенополистирольные плиты «Экстрол» укладывают на выравнивающий слой из талого либо сыпучемерзлого песка толщиной 5 – 10 см. Как правило под теплоизолирующим слоем устраивают гидроизолирующий слой.

3.4.2. Параметры вариантов конструкций должны обосновываться теплотехническими расчетами на основе двумерной задачи.

3.4.3. Возможные варианты конструкции с теплоизолирующим слоем из пенополистирольных плит «Экстрол» представлены на рис.3.3.

Схема рис.3.3 а) предназначена для случая, когда высота снегонезаносимой насыпи обеспечивает сохранение основания в мерзлом состоянии. Теплоизолирующий слой применяют для теплозащиты приоткосных частей насыпи.

Схема рис.3.3. б) предназначена для случая, когда высота снегонезаносимой насыпи не обеспечивает сохранение основания в мерзлом состоянии.

Схему рис.3.3 в) следует использовать при отсыпке ядра насыпи из некондиционных грунтов (т.е. не удовлетворяющих требований ВСН 84-89 к грунтам) и сохранении его (ядра) в мерзлом состоянии. Теплоизолирующий слой, выведенный за пределы мерзлого ядра а также плиты, уложенные на грунт основания насыпи, препятствуют оттаиванию основания насыпи.

Схема рис.3.3 г) отличается от предыдущей тем, что для теплоизоляции приоткосной части насыпи устроены бермы из песка. При замене песка торфопесчаной смесью объем берм следует уменьшить.

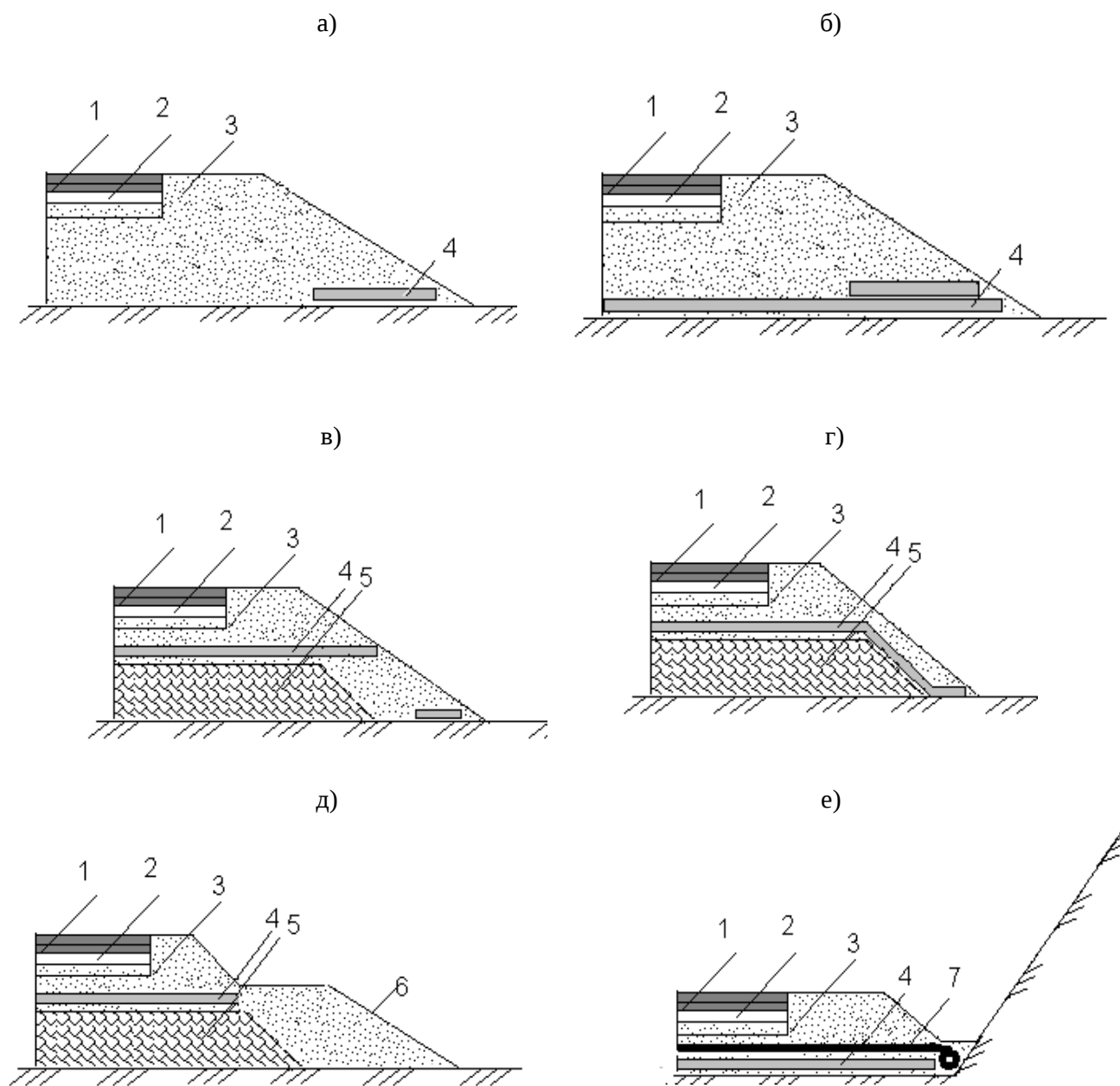


Рис.3.3. Варианты схем конструкций дорожной одежды с применением теплоизолирующего слоя, включающего пенополистирольные экструзионные плиты «Экстрол».

1 – двухслойное асфальтобетонное покрытие; 2 – несущее основание; 3 – песок нижнего слоя основания и тела насыпи; 4 – пенополистирольные плиты «Экстрол»; 5 – грунт, не удовлетворяющий требованиям СНиП и сохраняемый в мерзлом состоянии; 6 – берма; 7 – рулонный дренарующий материал.

Схема рис.3.3 д) предусматривает теплоизоляцию боковой части мерзлого ядра насыпи при помощи плит «Экстрол». Конструкцию необходимо проверить на сдвиг по линии контакта пенополистирольных плит с песчаным грунтом насыпи. Мерами, направленными на повышение сдвигоустойчивости откосов насыпи, могут быть следующие: уположение откосов, устройство уступов на откосе мерзлого ядра насыпи, устройство прослойки из геоматов на контакте пенополистирольных плит с песчаным грунтом на откосе мерзлого ядра насыпи.

Схему рис. 3.3. е) следует использовать в случае необходимости проложения трассы в выемках. Необходимо предусмотреть укрепление откосов выемки, при этом целесообразно использование теплоизолирующих материалов.

4. Особенности технологии и организации устройства теплоизолирующих слоев из пенополистирольных плит «Экстрол» при строительстве дорог

4.1. До устройства теплоизолирующего слоя должны быть выполнены следующие работы:

- подготовка земляного полотна;
- обеспечение водоотвода с поверхности земляного полотна;
- подготовка путей завоза строительных материалов.

4.2. Земляное полотно должно быть спланировано и уплотнено в соответствии с действующими нормативами. Если требуемого уплотнения в рабочем слое достичь невозможно, то должны быть выполнены специальные указания проекта.

Водоотвод с поверхности земляного полотна должен быть осуществлен до начала отсыпки выравнивающего слоя под плиты «Экстрол». При соответствующем технико-экономическом обосновании применяют дренирующую прослойку из геотекстиля. Поперечный уклон дренирующей прослойки принимают не менее 2%.

При использовании построечной техники с диаметром следа заднего колеса более 37 см и при среднем давлении от заднего колеса более 0,6 МПа следует выполнить расчет необходимой толщины защитного слоя над плитами «Экстрол» в соответствии с п.2.5.3.

После уплотнения этого слоя виброкатком 14-17 т по нему допускается пропуск построечного транспорта.

4.3. Для сохранения вечной мерзлоты в основании насыпи теплоизолирующий слой следует устраивать, как правило, в холодное время года. В выравнивающем слое в основании плит не должно быть мерзлых комьев, поэтому необходимо обеспечить своевременную заготовку сухого 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%).

4.4. В отдельных случаях теплоизолирующий слой при соответствующей организации работ частично может быть устроен в период положительных температур. С этой целью на основе теплотехнических расчетов на стадии производства работ должен быть разработан график строительства, обеспечивающий исключение оттаивания мерз-

лоты в основании насыпи в течение ограниченного периода при недостроенной конструкции.

Такой график должен составляться совместно с проектной и научно-исследовательской организацией, осуществляющей научное сопровождение.

4.5. При проведении работ в соответствии с графиком, указанным в п.4.4, должен проводиться мониторинг, обеспечивающий контроль температуры в конструкции и принятие оперативных мер в случае опасных ситуаций. В качестве таких мер может быть предусмотрено:

- ускорение сооружения конструкции 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.

4.6. Последовательность операций процесса устройства теплоизолирующего слоя из пенополистирольных плит «Экстрол» на выравнивающем слое из песка изложена в Технологической карте по устройству теплоизолирующего слоя дорожной одежды из пенополистирольных плит «Экстрол» (Приложение 4).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1.

Таблица П.1.1

Физико-механические и теплофизические свойства плит «Экстрол»

Наименование показателя	Значение показателя			Обозначение НД на метод контроля
	“Экстрол 35”	“Экстрол 40”	“Экстрол 45”	
	Тип 1	Тип 2		
Плотность, кг/м ³	Св. 28 до 38	Св. 38 до 42	Св. 42 до 48	ГОСТ 17177
Прочность на сжатие при 10% линейной деформации, МПа, не менее	0,25	0,3	0,5	ГОСТ 17177
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	0,4	0,7		ГОСТ 17177
Модуль упругости, МПа			23	СОЮЗДОРНИИ
Теплопроводность в сухом состоянии при (25 / 5)°С, Вт/м.К, не более	0,032			ГОСТ 7076-99
Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более	0,4		0,3	ГОСТ 17177
Группа горючести	Г- 1 Слабогорючие	Г- 4 Сильногорючие	Г- 4 Сильногорючие	ГОСТ 17177
Группа воспламеняемости	В-2 Умеренновоспламеняемые	В-2 Умеренновоспламеняемые	В-2 Умеренновоспламеняемые	ГОСТ 17177
Группа дымообразующей способности	Д-3 высокая дымообразующая способность	Д-3 высокая дымообразующая способность	Д-3 высокая дымообразующая способность	ГОСТ 17177

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Таблица П.1.2

Материал, грунт	Плотность , , кг/м ³	Коэффициент теп- лопроводности +, Вт/(м К)
1	2	3
Асфальтобетон горячий плотный	2400	1,40
То же, пористый	2300	1,25
То же, высокопористый, в том числе битумопес- чаная смесь (ТУ 218 РСФСР)	2200-1900	1,10-1,00
Супесь, укрепленная 10%-ной эмульсией	1700-1900	1,45
Цементобетон	2400	1,74
Песок разномерный, укрепленный 6-10% цемента	2100	1,86
Песок мелкий, одномерный, укрепленный 10% цемента	2100	1,62
Цементогрунт состава: песок – 75% (массы), керамзит – 25%, цемент – 5%	1500-1600	0,58-0,70
То же, состава: песок – 97-98%, гранулы полистирола – 3- 2%, цемент 7-6%	1300-1500	0,41-0,58
Битумоцементогрунт состава: перлитовый щебень – 25-20%, песок – 75- 80%, цемент – 3-4%, битум – 12-10% (массы песка, перлита и цемента)	1400	0,52-0,58
Цементогрунт состава: супесь или песок – 70-80%, аглопорит – 30- 20%, цемент – 6%	1700-1800	0,64-0,75
Шлакобетон	1600	0,58

Керамзитобетон	1400	0,75
Стиропорбетон	1000-1100	0,23
Слабопрочные известняки, укрепленные известью	2000	1,16
Суглинок, укрепленный 6-12% цемента	1750-1900	1,45
Суглинок, укрепленный 2-5% цемента и 6-2% извести	1800-1900	1,33
Супесь, укрепленная 8-10% цемента	1700-1900	1,51
Пенопласт	38,5-60	0,03-0,052
Пеноплэкс	38,5-50	0,03-0,032
Каменноугольная золошлаковая смесь, укрепленная 6-8% цемента	1600	0,7
Шлак топочный	800	0,46
Щебень из гранита	1800	1,86
Щебень из известняка	1600	1,39
Гравий	1800	1,86
Песок крупный талый	2000	1,74
То же, мерзлый	2000	2,32
Песок средней крупности талый	1950	1,91
То же, мерзлый	1950	2,44
Песок мелкий талый	1850	1,91
То же, мерзлый	1850	2,32
Песок пылеватый талый	1750	1,80
То же, мерзлый	1750	2,20
Супесь талая	2100	1,80
То же, мерзлая	2100	2,03
Суглинок и глина талые	2000	1,62
То же, мерзлые	2000	1,97
Лессы талые	1500	1,51
То же, мерзлые	1500	2,09
Одномерный гранитный щебень, обработанный вязким битумом	1850	1,28
Гравийно-песчаная смесь	2000	2,10
Гравийно-песчаная смесь, укрепленная 10% цемента	2000	2,02

Таблица П.1.3

Климатические характеристики регионов России

Пункт	$t_{вл}$	$t_{пр}$	-
1	2	3	4
Александровск	840	230	63.30
Архангельск	672	261	55.12
Багдарин	960	310	169.14
Белгород	1392	137	16.22
Белогорка(Ленинградской)	1056	250	36.00
Бисерть(Свердловской)	648	283	73.35
Валдай	1176	234	36.69
Владимир	528	240	44.16
Вологда	1464	199	38.21
Воронеж	1176	124	15.28
Вятка	936	232	55.31
Енисейск	816	262	109.41
Иваново	720	254	48.36
Ивдель (Свердловской)	1296	182	47.17
Ижевск	384	251	58.63
Иркутск	1512	264	98.42
Йошкар-Ола	240	259	59.26
Казань	384	263	53.02
Калининград	1776	245	52.92
Калуга	1320	225	10.44
Кандалакша	768	211	30.38
Кингисепп (Ленинградской)	1272	239	30.21
Киселевск (Кемеровской)	0	262	72.10
Кострома	1464	151	28.27
Курган	480	173	51.76
Курск	1440	139	17.12
Магадан	1872	250	70.00
Мезень	624	274	65.76
Минусинск	264	261	86.86
Москва	1248	170	28.02
Мурманск	912	255	35.90
Великий Новгород	1680	151	28.03
Нижевартовск	720	275	94.59
Нижний Новгород	1440	182	26.21
Нолинск (Кировск.обл.)	312	254	57.71
Норск(Амурской)	1704	260	132.29
Огурцово (Новосибирской)	192	271	81.52
Оренбург	0	240	56.83
Парабель (Томской)	816	274	91.19
1	2	3	4
Пермь	0	192	47.00
Пенза	1152	259	50.56

Петербург	1632	160	20.48
Петрозаводск	1128	219	35.39
Порецкое (Чувашия)	480	96	48.81
Псков	1272	189	21.47
Ржев (Тверской)	1008	241	40.10
Родио (Алтайский край)	0	248	70.23
Рыбинск	1152	231	41.40
Рязань	864	193	29.64
Самара	96	206	41.20
Саранск	0	250	49.20
Саратов	168	199	36.30
Смоленск	1536	244	38.26
Сургут	624	281	94.58
Сыктывкар	600	268	69.47
Тамбов	1368	142	23.17
Тимирязевский (Приморский край)	1848	228	71.14
Тула	936	205	29.52
Улан -Уде (Бурятия)	0	238	94.44
Ульяновск	240	256	54.07
Ханты-Мансийск	672	266	85,55
Чекунда (Хабаровский край)	1800	261	141.15
Челябинск	240	173	36.54
Чита	1344	275	129.36
Чишмы (Башкортостан)	192	263	62.28

Примечание. $t_{вл}$ – продолжительность периода осеннего влагонакопления, ч; $t_{пр}$ – продолжительность периода промерзания, сут; σ – сумма градусо-часов отрицательной температуры, умноженная на 0,001

Расчет величины морозного пучения

При проверке на морозоустойчивость величину возможного морозного пучения следует определять по формуле

$$l_{пуч} = l_{пуч.ср} K_{УГВ} K_{пл} K_{зр} K_{нагр} K_{вл} \quad (П.2.1.)$$

где $l_{пуч.ср}$ – величина морозного пучения при осредненных условиях, определяемая по рис. П.2.4 в зависимости от толщины дорожной одежды (включая дополнительные слои основания), группы грунта по степени пучинистости (табл.П.2.1 и табл. П.2.2) и глубины промерзания ($z_{пр}$);

$K_{УГВ}$ - коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины (H^*) залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод (рис.П.2.1); при отсутствии влияния грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод следует принимать: для супеси тяжелой и пылеватой и суглинка $K_{УГВ} = 0,53$; для песка и супеси легкой и крупной $K_{УГВ} = 0,43$;

$K_{пл}$ - коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя (табл. П.2.3);

$K_{зр}$ - коэффициент, учитывающий влияние зернового состава грунта основания насыпи или выемки (табл.П.2.4);

$K_{нагр}$ - коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое и зависящий от глубины промерзания (рис.П.2.2);

$K_{вл}$ - коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта (табл.П.2.5).

Если данные натурных наблюдений отсутствуют, то глубину промерзания дорожной конструкции можно определять по формуле

$$z_{пр} = z_{пр(ср)} 2,38 \quad (П.2.2)$$

где $z_{пр(ср)}$ - средняя глубина промерзания для данного района, устанавливаемая при помощи карт изолиний (рис.П.2.3).

При глубине промерзания дорожной конструкции $z_{пр} < 2$ м $l_{пуч.ср}$ устанавливают по графикам рис. П.2.4 и при $z_{пр} = 2,0 \div 3,0$ м — по формуле

$$l_{пуч.ср} = l_{пуч.ср2,0} \cdot [a + b \cdot (z_{пр} - c)], \quad (П.2.3)$$

где $l_{пуч.ср2,0}$ - величина морозного пучения при $z_{пр} = 2,0$ м;

$a = 1,0$; $b = 0,16$; $c = 2,0$ при $2,0 \leq z_{пр} \leq 2,5$;

$a = 1,08$; $b = 0,08$; $c = 2,5$ при $2,5 \leq z_{пр} \leq 3,0$

Если при расчетном сроке службы до 10 лет полученная величина возможного пучения будет превышать 80% от допустимой (см. табл.2.1. основного текста), а при сроке службы более 10 лет будет превышать 60 % от допустимой, то необходимо рассмотреть вариант устройства морозозащитного или теплоизолирующего слоя.

Таблица П.2.1

Классификация грунтов по степени пучинистости при замерзании
(СНиП 2.05.02-85, прил.2 табл. 6)

Группа грунта по пучинистости	Степень пучинистости	Относительное морозное пучение образца, %
I	Непучинистый	1 и менее
II	Слабопучинистый	Свыше 1 до 4
III	Пучинистый	Свыше 4 до 7
IV	Сильнопучинистый	Свыше 7 до 10
V	Чрезмернопучинистый	Свыше 10

Таблица П.2.2

Группы грунтов по степени пучинистости
(СНиП 2.05.02-85, прил 2 табл. 7)

Грунт	Группа
Песок гравелистый, крупный и средней крупности, содержащий до 2% частиц мельче 0,05 мм	I
Песок гравелистый, крупный, средней крупности и мелкий, содержащий до 15 %, частиц мельче 0,05 мм, супесь легкая крупная	II
Супесь легкая, суглинок легкий и тяжелый, глины	III
Песок пылеватый, супесь пылеватая, суглинок тяжелый пылеватый	IV
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый	V

Таблица П.2.3

Коэффициент уплотнения $K_{упл}$	$K_{пл}$ для грунта	
	песка пылеватого, супеси легкой и пылеватой, суглинка, глины	песка, кроме пылеватого, супеси легкой крупной
1,03 - 1,00	0,8	1,0
1,01 - 0,98	1,0	1,0
0,97 – 0,95	1,2	1,1
0,94 - 0,90	1,3	1,2
< 0,90	1,5	1,3

Таблица П.2.4

Грунт	K_{zp}
пески	1,0
супеси	1,1
суглинки	1,3
глины	1,5

Таблица П.2.5

Относительная влажность W/W_T	0,6 и менее	0,7	0,8	0,9
$K_{вл}$	1,0	1,1	1,2	1,3

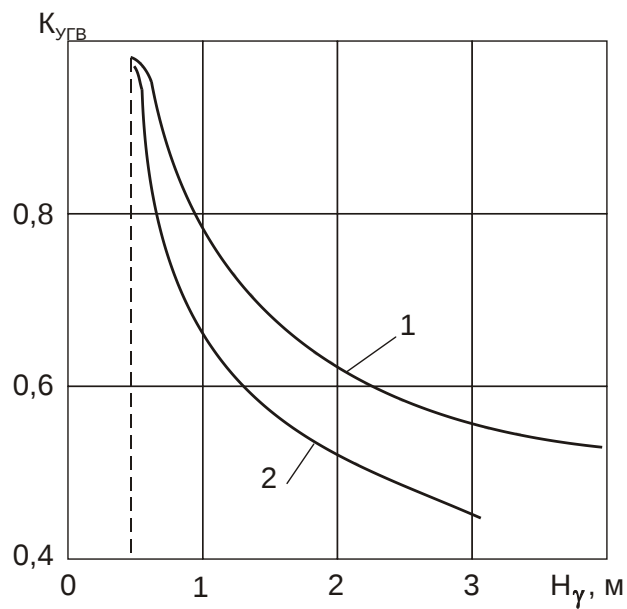


Рис.П.2.1. Зависимость коэффициента $K_{угв}$ от расстояния от низа дорожной одежды до расчетного УГВ или УПВ: 1 – супесь пылеватая и тяжелая пылеватая, суглинок; 2 – песок, супесь легкая и легкая крупная

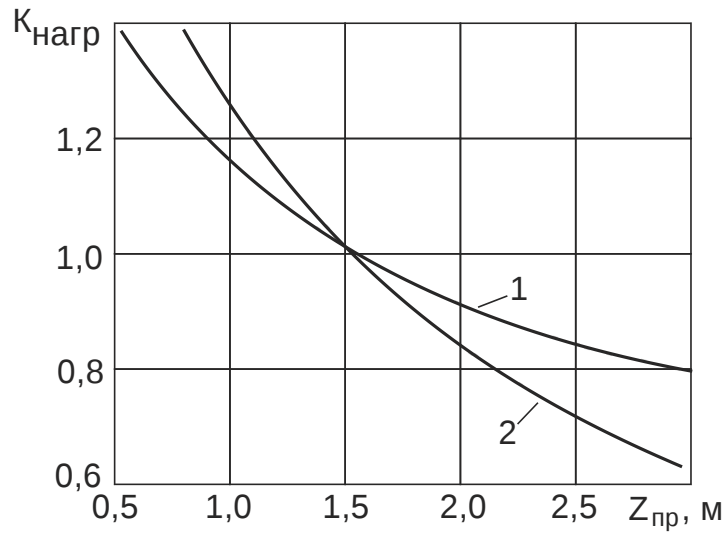


Рис.П.2.2. Зависимость коэффициента $K_{\text{нагр}}$ от глубины промерзания $z_{\text{пр}}$ от поверхности покрытия: 1 – супесь пылеватая и тяжелая пылеватая, суглинок; 2 – песок; супесь легкая и легкая крупная

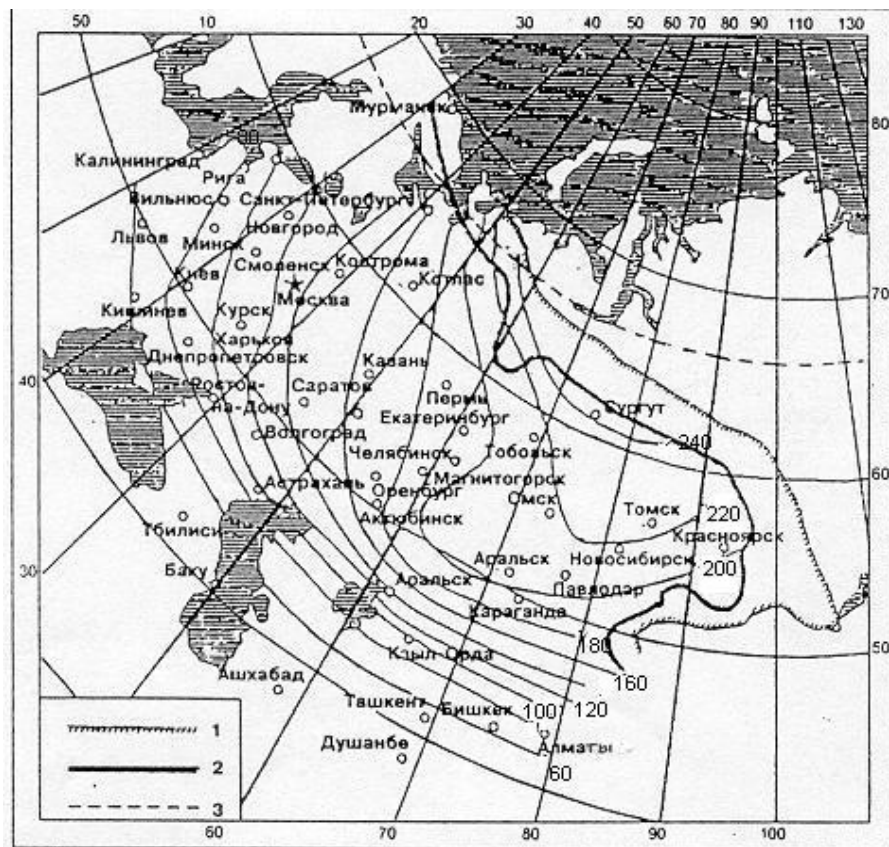


Рис.П.2.3. Карта изолиний глубины промерзания $z_{\text{пр(ср)}}$ грунтов на территории СНГ: 1 – граница сплошного распространения вечномёрзлых грунтов; 2 – то же, островного; 3 – границы стран СНГ

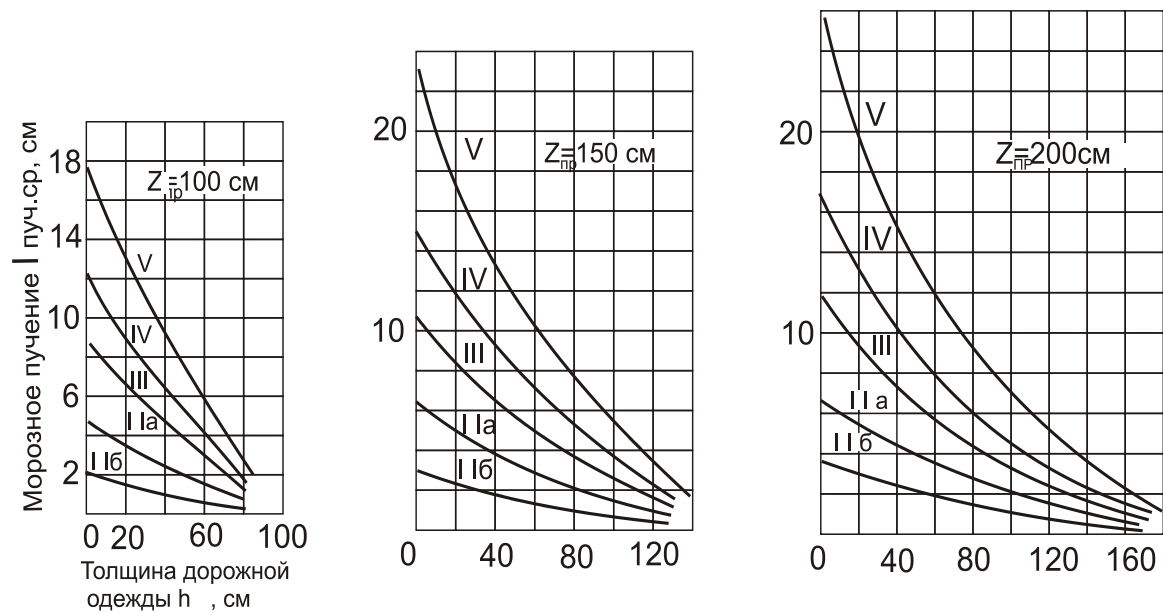


Рис.П.2.4. Графики для определения осредненной величины морозного пучения $l_{\text{пуч. ср.}}$.

Примечания. 1. Кривую II – V выбирают в соответствии с табл.П.2.2; 2. Кривую IIa выбирают при 2-й и 3-й схемах увлажнения рабочего слоя, кривую IIб — при 1-й.

Приложение 3

Расчет по термическому сопротивлению толщины теплоизолирующего слоя h_{π} в случае допущения промерзания грунтов земляного полотна на расчетную глубину

Требуемую толщину теплоизолирующего слоя h_{π} в случае допущения промерзания основания определяют по формуле

$$h_{\pi} = [R_{од(тр)} - R_{од(о)}] \lambda_{\pi} \quad (\text{П.3.1})$$

где: $R_{од(тр)}$ – требуемое для данных условий термическое сопротивление дорожной одежды, при котором морозное пучение конструкции не превысит допустимой величины, $\text{м}^2\text{К/Вт}$;

$R_{од(о)}$ – фактическое термическое сопротивление дорожной одежды, $\text{м}^2\text{К/Вт}$;

λ_{π} – коэффициент теплопроводности плит «Экстрол»; $\lambda_{\pi} = 0,032 \text{ Вт/мК}$;

$R_{од(о)}$ определяют в соответствии с п.2.4.2.4. основного текста. $R_{од(тр)}$ определяют по формуле (П.3.2)

$$R_{од(тр)} = R_{пр} \cdot K_{од} \cdot \delta, \quad \text{м}^2 \text{ К/Вт} \quad (\text{П.3.2})$$

Приведенное термическое сопротивление $R_{пр}$ определяют по номограмме рис. П.3.1 методом итерации через отношение $I_{пуч}^{доп} / (C_{пуч} C_p)$ (горизонтальная ось номограммы), $K_{од}$ и δ – в соответствии с п.2.4.2.2 основного текста.

При этом значения $C_{пуч}$ и C_p определяют соответственно по табл. П.3.1 и П.3.2, а $I_{пуч}^{доп}$ – по табл. 2.1 основного текста.

При назначении величины C_p по табл. П.3.2 подбирают допустимую глубину промерзания $h_{пр(доп)}$ таким образом, чтобы получаемому значению отношения $I_{пуч}^{доп} / (C_{пуч} C_p)$ соответствовала величина $h_{пр(доп)}$ на вертикальной оси номограммы, равная принятой при определении C_p . Подбор нужно начинать со значения $h_{пр(доп)}$, соответствующего наименьшей допустимой глубине промерзания.

При глубине залегания подземных вод на участке дороги, отличающейся от указанных на номограмме (рис. П.3.1), нужно определить два значения $R_{пр}$. Одно – при значении H^* на номограмме более, а другое – при значении H^* на номограмме менее

данного. Искомое значение $R_{пр}$ устанавливают методом интерполяции между соответствующими величинами.

Таблица П.3.1

Значения показателя $C_{пуч}$ для грунтов			
Слабо-пучинистых	Пучинистых	Сильно-пучинистых	Чрезмерно-пучинистых
0,50	1,0	1,5	2,0

Таблица П.3.2

Грунт земляного полотна	Значение коэффициента C_p в зависимости от толщины дорожной одежды ($h_{од}$, м) и допустимой глубины промерзания ($h_{пр(доп)}$, см)						
	$h_{од} = 0,5$			$h_{од} = 1,0$		$h_{од} = 1,5$	
	$h_{пр(доп)}$			$h_{пр(доп)}$		$h_{пр(доп)}$	
	0 - 50	51 - 100	\$ 100	0 - 100	\$ 100	0 - 100	\$ 100
Песок пылеватый	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,40
Супесь легкая	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50
Супесь пылеватая	0,75	0,70	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55
Суглинок легкий, суглинок легкий пылеватый	0,80	0,75	0,70	0,70	0,65	0,65	0,60
Суглинок тяжелый, суглинок тяжелый пылеватый, глина	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,65

Примечание. При промежуточных значениях толщины дорожной одежды следует принимать значение C_p по интерполяции соответствующих величин.

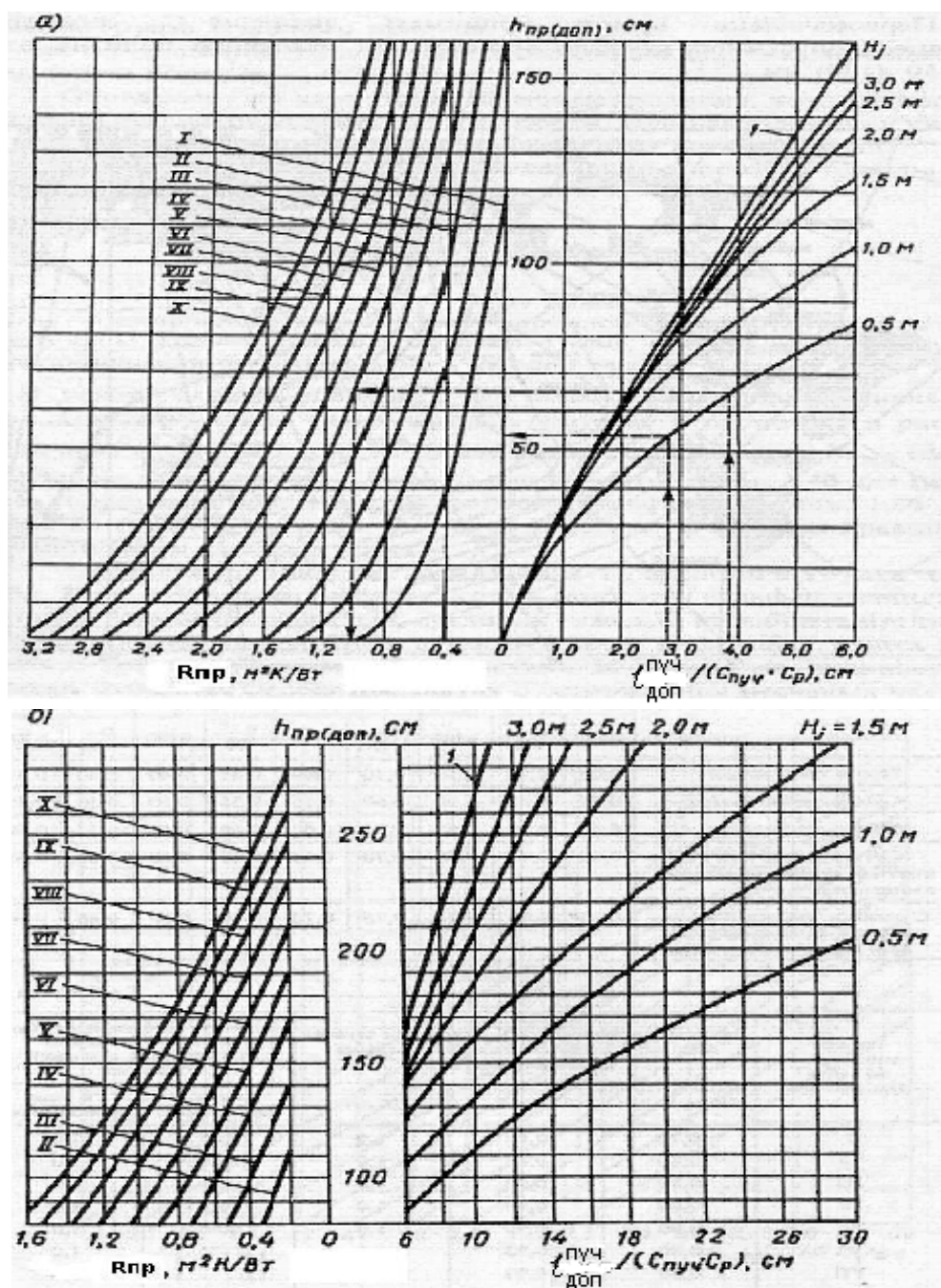


Рис.П.3.1. Номограмма для определения приведенного термического сопротивления дорожной одежды $R_{пр}$:

I-X — номера изолиний на карте рис.2.2 основного текста при расположении объекта в Европейской части РФ и в Западной Сибири, при расположении объекта в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке - в табл. 2.4 основного текста; 1 — кривая расчета для 1-ого и 2-ого типов увлажнения рабочего слоя земляного полотна; H_j — глубина залегания расчетного УГВ от низа дорожной одежды, включая морозозащитный слой.

Технологическая карта

Устройство теплоизолирующего слоя дорожной одежды из пенополистирольных плит «Экстрол»

П.4.1. Назначение и область применения

Технологическая карта предназначена для использования при разработке проекта производства работ и организации работ при устройстве теплоизолирующих слоев дорожной одежды из пенополистирольных плит «Экстрол» в условиях II – V дорожно-климатических зон (ДКЗ), а также в I –й ДКЗ (зоне распространения вечной мерзлоты).

Настоящая Технологическая карта включает указания по устройству теплоизолирующего слоя из пенополистирольных плит «Экстрол» а также некоторые отдельные указания по устройству выравнивающего и защитного слоев.

Технологические карты на устройство защитного и выравнивающего слоев при строительстве в северных условиях разрабатывают для конкретных участков исходя из их протяженности, наличия строительной техники и т.д.

П.4.2. Указания по технологии производства работ

П.4.2.1. Общие положения

В состав технологического процесса по устройству теплоизолирующих слоев дорожной одежды входят следующие операции:

- 1 Устройство выравнивающего слоя;**
- 1 Укладка плит;**
- 1 Устройство защитного слоя.**

Теплоизолирующие слои необходимо устраивать согласно проектной документации. Как правило, теплоизолирующий слой устраивают путем укладки плит в один ярус, однако в отдельных случаях плиты могут быть уложены в 2 яруса.

Работы по укладке плит производят вручную.

До начала работ производится входной контроль пенополистирольных плит «Экстрол» визуально.

П.4.2.2. 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 5 – 10 см в плотном теле.

Поверхность выравнивающего слоя перед укладкой на нем плит должна быть очищена от посторонних предметов.

П.4.2.3. Укладка плит теплоизолирующего слоя.

В дорожной одежде следует использовать плиты с краем, выполненным с уступом (шпунтом) или с пазом для скрепления соседних плит.

Плиты укладывают вручную бригадой рабочих. Плиты следует укладывать таким образом, чтобы поперечные швы в соседних рядах плит располагались вразбежку (рис. П.4.1.). В случае укладки плит в 2 яруса швы нижележащего ряда плит необходимо перекрывать вышележащими плитами

При укладке необходимо обеспечить равномерное опирание всей поверхности плиты на выравнивающий слой. Для этого непосредственно перед укладкой плиты, если это требуется, следует подсыпать песок под плиту.

Плиты крайних рядов закрепляют 2-мя стальными стержнями диаметром 6-8 мм и длиной 400 мм в соответствии со схемой раскладки плит. Через каждые 5 – 6 рядов производят закрепление одного ряда плит указанными стержнями.

Теплоизолирующий слой должен быть принят по акту на скрытые работы по форме 40Т.

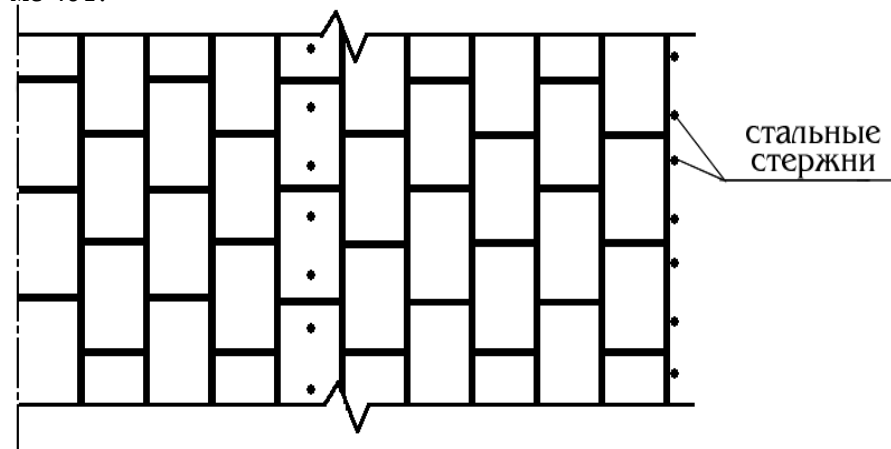


Рис. П.4.1. Схема раскладки плит «Экстрол».

П.4.2.4. 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 проверяется расчетом и должна быть как правило не менее 25 см в плотном теле.

Проезд строительной техники по плитам теплоизолирующего слоя не допускается. Выравнивающий слой отсыпают «от себя».

Распределение песка производят бульдозером при постоянном геодезическом контроле.

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

Уплотнение производят гладковальцевым катком.

Таблица П.4.1

*Схема
технологического процесса устройства теплоизолирующего слоя из пенополистирольных плит «Экстрол».*

Профилирование и уплотнение выравнивающего слоя	Раскладка и закрепление плит «Экстрол»	Завоз и распределение песка защитного слоя
300 м	300 м	300 м
I	II	III
1. Автогрейдер 1 шт 2. Каток 1 шт	Стальные стержни диаметром 6 мм и длиной 400 мм, топор	1. Автосамосвалы 2. Бульдозер 3. Автогрейдер 4. Каток
1. Машинист автогрейдера -1 2. Машинист катка - 1	1. Дорожные рабочие 3 - 5 чел.	1. Машинист бульдозера –1 2. Машинист грейдера –1 3. Водители автомашин 4. Машинист катка - 1

П.4.2.5. Указания по организации работ.

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

В выравнивающем и защитном слоях не должно быть мерзлых комьев, поэтому необходимо обеспечить своевременную заготовку сухого песка, пригодного для этой цели. Как правило, для этого используют гидронамывной песок, который складировуют в бурты и осушают в теплое время года. Следует использовать либо талый песок, извлеченный из середины бурта и транспортированный автомашинами с утеплителем, либо сыпучемерзлый (с влажностью не более 7%).

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.

Таблица П.4.2.

Потребность в оборудовании при устройстве теплоизолирующего слоя

Наименование	Количество, шт
Нивелир с треногой и рейкой	1
Рулетка стальная, длиной 20 м	1
Лопата совковая	1-2
Вагон мастера с обогревом и кладовая	1
Аптечка	1
Трассировочный шнур	1
Топор	1
Кувалда	1

Таблица П.4.3.

Потребность в рабочих и оборудовании

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

П.4.2.6. Указания по контролю качества выполнения работ

В процессе производства работ по устройству теплоизолирующего слоя должны контролироваться:

- 1 Соответствие поперечных уклонов земляного полотна проекту – не реже чем через 50 м;
- 1 Ровность теплоизолирующего слоя – не реже чем через 50 м;
- 1 Качество закрепления крайних рядов плит – визуально.

П.4.2.7. Указания по технике безопасности

Пенополистирольные плиты «Экстрол» при температуре эксплуатации не оказывают вредного воздействия на организм человека. Пенополистирольные плиты «Экстрол» не токсичны, не взрывоопасны по ГОСТ 30244-94 - горючие материалы.

Пенополистирольные плиты «Экстрол» при контакте с открытым огнем загораются и горят коптящим пламенем. При исчезновении источника пламени горение прекращается.

Пример.

Определить толщину теплоизолирующего слоя из пенополистирольных плит «Экстрол» на основе коэффициента влагопроводности.

Исходные данные.

1. Автомобильная дорога II категории расположена в регионе Нижнего Новгорода.
2. Грунт земляного полотна - супесь тяжелая пылеватая
3. Глубина выемки составляет 100см.
4. Расчетный уровень грунтовых вод - на глубине 120 см от поверхности земляного полотна.
5. Экспериментально установленное значение коэффициента влагопроводности $K_{ВЛ} = 5 \text{ см}^2/\text{ч}$.
6. Начальная влажность $W_H = 0,12$, предел текучести $W_T=0,18$, плотность сухого грунта $\rho_d = 1,66 \text{ г/см}^3$.
7. Суммарная толщина дорожной одежды, имеющей асфальтобетонное покрытие, равна 60 см.

Расчет.

Расчет выполняем подбором. Задаемся толщиной теплоизолирующего слоя $h_s = 7$ см.

1. Из табл. П.1.3 находим для Нижнего Новгорода $t_{вл} = 1440$ ч, $t_{пр} = 182$ суток,
- $= 26,21$.
2. Вычисляем по зависимости (2.7) значение критерия осеннего влагонакопления
 $F = K_{ВЛ} 2t_{вл}/h^2 = 521440/120^2 = 0,50$;
3. Определяем параметр М в соответствии с (2.8)
 $M = (160 - 60)/120 = 0,83$.
4. По графику рис.2.3 находим $\%W_{отн} = 0,73$.
5. Приняв $\rho_s = 2,68$, получим $W_{ПВ} = 1/1,66 - 1/2,68 = 0,23$.
6. По зависимости (2.11) вычисляем характеристику скорости промерзания
($= 1,24 + 0,72 \ln - - 0,05 \cdot 2h_s = 1,24 + 0,722 \ln 26,21 - 0,0527 = 3,58$.
7. Используя (2.9), вычисляем критерий зимнего влагонакопления Z.
 $Z = 3,59 : 22\sqrt{5} = 0,80$

8. По графику рис.2.4 находим $C = 1,50$.

9. Для супеси тяжелой пылеватой из табл.2.6 находим $W_h = 0,09$ и $W_{нз} = 0,06$.

10. С помощью (2.6) находим

$$W_{\text{всеср}} = 0,09 + [0,12 + 0,73(0,23 - 0,12) - 0,09] \cdot 21,50 = 0,26.$$

11. По зависимости (2.5) находим величину допускаемой глубины промерзания грунта

$h_{np}^{\text{дон}}$:

$$h_{np}^{\text{дон}} = \frac{4 \cdot 21}{1,66[1,09(0,26 - 0,06) + (0,23 - 0,06)]} = 50,2 \text{ см.}$$

12. Определяем по формуле (2.3) требуемую толщину h_s теплоизолирующего слоя из пенополистирольных плит «Экстрол»:

$$h_s = \frac{150,6 \cdot 0,0027 \cdot 226,21 + 50,2}{13,93 + 0,0067 \cdot 226,21} = 7,3 \text{ см}$$

Расчет окончен.