МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
(РОСАВТОДОР)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по проектированию и устройству теплоизоляционных слоев дорожной одежды из пенополистирольных плит «Пеноплэкс»

Москва, 2001

gost.e-ecolog.ru

Министерство транспорта Российской Федерации
Государственная служба дорожного хозяйства
(Росавтодор)

Утверждено
Распоряжением
№ ОС-35-р
от 20.12.2000

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ по проектированию и устройству теплоизоляционных слоев дорожной одежды из пенополистирольных плит «Пеноплэкс»

Москва, 2001

Оглавление

		Стр.
	Предисловие	3
1.	Общие положения. Условия эффективного применения термоизолирующих прослоек из плит «Пеноплэкс»	3
2.	Обеспечение морозоустойчивости дорожной конструкции при сезонном промерзании с помощью термоизолирующего слоя из «Пеноплэкса»	5
2.1.	Условия морозоустойчивости дорожной конструкции	5
2.2.	Расчет величины морозного пучения конструкции	5
2.3.	Способы обеспечения морозоустойчивости дорожной конструкции	6
2.4.	Расчет и конструирование дорожной одежды с термоизолирующим слоем из плит «Пеноплэкс»	7
2.4.1.	Расчет требуемой толщины термоизолирующего слоя из «Пеноплэкса» при обеспечении морозоустойчивости дорожной конструкции	7
2.4.2.	Учет термоизолирующего слоя из «Пеноплэкса» в расчете дорожной одежды на прочность	15
2.4.3.	Схемы конструктивных решений дорожных одежд с термоизолирующими слоями из «Пеноплэкса»	19
2.4.4.	Требования к пенополистиролам, используемым в дорожных конструкциях	23
3.	Обеспечение термозащиты дорожной конструкции, сооружаемой на вечной мерзлоте, с помощью термоизолирующего слоя из «Пеноплэкса»	24
3.1.	Принципы проектирования дорожных конструкций на вечной мерзлоте и условия их применения	24
3.2.	Сохранение мерзлоты с помощью термоизоляционного слоя из «Пеноплэкса»	25
3.2.1.	Расчет требуемой толщины термоизолирующего слоя	25
3.2.2.	Учет влияния термоизоляционного слоя из «Пеноплэкса» на прочность дорожной одежды	26
3.2.3.	Схемы конструктивных решений дорожных конструкций, сооружаемых с сохранением грунта в мерзлом состоянии, с использованием термоизолирующего слоя из «Пеноплэкса»	27
4.	Условия оптимизации дорожных конструкций с термоизоляционными слоями из пенополистирольных плит «Пеноплэкс»	30
4.1.	Принципы оптимизации конструкций с прослойками из «Пеноплэкса» по строительной стоимости	30
4.2.	Принципы оценки эффективности конструкций с «Пеноплэксом»	32
5.	Технология и организация устройства термоизолирующих прослоек из «Пеноплэкса» при строительстве дорог	32
5.1.	Устройство термоизолирующей прослойки из плит «Пеноплэкса»	32
5.2.	Особенности организации строительных работ при применении теплоизолирующих слоев из «Пеноплэкса» в зоне вечной мерзлоты	34
	Приложение 1	35
	Приложение 2	47

Предисловие

Настоящие Методические рекомендации разработаны ФГУП «Союздорнии».

Методические рекомендации разработаны в развитие ОДН 218 046-00 «Проектирование нежестких дорожных одежд», а также в развитие ВСН 84-89 «Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты». Методические рекомендации предназначены для обеспечения возможности накопления практического опыта применения термоизолирующих прослоек из экструзионного пенопласта «Пеноплэкс» в конструкциях дорожных одежд в условиях опытного строительства.

Пособие разработали:
д-р технич. наук, проф. В.Д.Казарновский,
д-р геолого-минерал. наук, проф. С.Е.Гречищев,
к т.н. Е.С.Пшеничникова
при участии инж. Н.И Черновой и к.т.н. И.В.Лейтланд.

Предполагается, что реализация настоящих Методических рекомендаций как в части проектирования, так и строительства будет осуществляться при научном сопровождении, в рамках которого будут предусмотрены последующие наблюдения за построенными конструкциями в процессе их эксплуатации.

Замечания, пожелания и возникающие вопросы по Методическим рекомендациям просьба направлять по адресу: 143900, г. Балашиха-6, Московская обл., ш. Энтузиастов, 79, Союздорнии.

1. Общие положения

1.1 Термоизолирующие прослойки из «Пеноплэкса» в конструкции дорожной одежды могут применяться.

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

1.2. Первое направление использования термоизолирующей прослойки может быть реализовано на дорогах общей сети и ведомственных дорогах в

любой дорожно-климатической зоне при наличии сезонного промерзания-оттаивания грунтов с повышенной пучинистостью.

Второе направление может быть реализовано на дорогах общей сети и ведомственных дорогах только в зоне вечной мерзлоты или в специальных проектных решениях, рассчитанных на особые условия строительства и эксплуатации дороги (временные дороги, спецдороги и.т.п.).

1.3. 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;
- возможности использования в верхней части земляного полотна местных пучинистых грунтов (без их замены);
- повышения долговечности конструкции вследствие исключения периодически возникающих деформаций морозного пучения;
- возможности понижения рабочих отметок насыпей на участках, где при традиционных конструкциях действуют ограничения СНиП 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 при процессе морозного пучения;
- снижения требуемой толщины дренирующего слоя за счет исключения поступления воды снизу при оттаивании земляного полотна.

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

- уменьшения объемов привозных грунтов при сооружении земляного полотна по I-му принципу (сохранение мерзлого грунта);
- обеспечения возможности использования в земляном полотне грунтов с любой степенью увлажнения в виде мерзло-комковатого материала;
- обеспечения возможности уменьшения рабочих отметок насыпей, сооружаемых по I-му принципу в зоне вечной мерзлоты с соответствующим уменьшением объемов земляных работ;
- исключения необходимости замены грунта в основании дорожной одежды в выемке;
- повышения надежности и долговечности дорожной конструкции, запроектированной по I-му принципу;
- сокращения затрат на уплотнение грунтов при сооружении насыпей;
- снижения экологического ущерба при строительстве дорог в северных районах.

1.5. Конструктивные решения с использованием термоизолирующих прослоек должны быть обоснованы соответствующими расчетами, указанными в настоящем пособии.

2. Обеспечение морозоустойчивости дорожной конструкции при сезонном промерзании с помощью термоизолирующего слоя из «Пеноплэкса».

2.1. Условия морозоустойчивости дорожной конструкции (по ОДН 218.046-00)

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

$$l_{пуч} \le l_{пуч}^{доп}, \qquad (1)$$

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

$l_{пуч}^{доп}$ – допустимая величина морозного пучения, устанавливаемая по табл.1.1.

Таблица 1.1
(Табл.4.3 ОДН 218.046-00)

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 конструкции

2.2.1. Специальные мероприятия по снижению или исключению морозного пучения конструкции (включая устройство теплоизолирующих слоев) должны рассматриваться в тех случаях, когда определенная расчетом величина морозного пучения конструкции превышает допустимые значения, указанные в табл.1.1.

2.2.2. Для определения расчетной величины морозного пучения конструкции $l_{пуч}$ могут быть использованы методики, предусмотренные в ОДН 218.046-00 и представленные в приложении 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);

- методика, основанная на использовании непосредственно определяемой экспериментально величины коэффициента влагопроводности грунта (метод проф. И.А.Золотаря).

2.3. Способы обеспечения морозоустойчивости дорожной конструкции

2.3.1. При несоблюдении условия морозоустойчивости конструкции (см. п.2.1.1) принимают специальные меры для повышения морозоустойчивости, назначаемые на основе технико-экономических расчетов.

2.3.2. Традиционно применяемыми способами повышения морозоустойчивости дорожных конструкций являются:

- использование в рабочем слое взамен местных пучинистых грунтов привозных непучинистых или слабопучинистых грунтов (замена грунта). При выборе грунта учитывают действующую классификацию грунтов по пучинистости (табл.2.1);
- увеличение расстояния от низа дорожной одежды до уровня подземных или поверхностных вод за счет увеличения высоты насыпей или устройства дренажной системы в выемке (осушение земляного полотна;
- устройство морозозащитного слоя из непучинистых грунтов и минеральных материалов, в т.ч. укрепленных малыми дозами минеральных или органических вяжущих;
- устройство основания дорожной одежды из монолитных материалов (типа тощего бетона или зернистых материалов, обработанных минеральными или органическими вяжущими).

Таблица 2.1

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

Группы грунтов по пучинистости	Степень пучинистости	Относительное морозное пучение
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

2.3.3. К нетрадиционным способам повышения морозоустойчивости относят способы, предусматривающие использование в конструкции промышленных изделий в виде различного рода прослоек:

- гидроизолирующих (полиэтиленовые пленки, гидроизол и др.);
- капилляропрерывающих;
- теплоизолирующих слоев, снижающих глубину промерзания или полностью исключающих промерзание грунта;
- армирующих прослоек из геотекстиля и геосеток, обеспечивающих повышение равномерности деформаций пучения конструкции.

Теплоизолирующие слои могут устраиваться из различных материалов, как естественных (торф), так и искусственных (материалы с пониженной теплопроводностью, в том числе пенопласты различных типов, отвечающие определенным требованиям).

Теплоизолирующие слои из экструзионных пенопластов применяют для повышения морозоустойчивости дорожной конструкции в особо неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях, характерных для 2-го и 3-го типа местности по увлажнению. В зависимости от особенностей конкретного участка возможно либо не допускать промерзания насыпи и ее основания и исключить таким образом морозное пучение грунтов полностью, либо уменьшить глубину промерзания и, соответственно, до допустимой его величины.

В общем случае вид теплоизолирующего материала и параметры теплоизолирующего слоя определяются на основе специальных расчетов и технико-экономических обоснований.

Теплоизолирующие слои из «Пеноплэкса» могут быть применены как в случае насыпей, отсыпанных из пучиноопасных грунтов, так и в выемках, основание которых сложено пучиноопасными грунтами.

2.4. Расчет и конструирование дорожной одежды с термоизолирующим слоем из плит «Пеноплэкс»

2.4.1. Расчет требуемой толщины термоизолирующего слоя из «Пеноплэкса» при обеспечении морозоустойчивости дорожной конструкции

2.4.1.1. Для расчета требуемой толщины теплоизолирующего слоя могут применяться:

- метод, использующий понятие о термическом сопротивлении конструкции (В.И.Рувинский);
- метод, использующий в качестве характеристики грунта коэффициент влагопроводности, определяемый экспериментально (И.А.Золотарь).

Расчет по термосопротивлению

2.4.1.2. Требуемую толщину теплоизолирующего слоя $h_п$ по этому методу приближенно можно определить по формуле:

$$h_п = [R_{од(тр)} - R_{од(о)}]\,\lambda_п, \qquad (2.1)$$

где $R_{од(тр)}$ – требуемое для данных условий термическое сопротивление дорожной одежды, при котором морозное пучение конструкции не превысит допустимой величины (табл.1.1), м^{2}К/Вт;

$\lambda_п$ – коэффициент теплопроводности «Пеноплэкса», Вт/мк;

$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{i=n-1} \frac{h_i}{\lambda_i}$ – термическое сопротивление части конструкции дорожной одежды, расположенной над теплоизолирующим слоем;

h_i – толщина i-го слоя конструкции, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности i-го слоя, Вт/мк;

n – число конструктивных слоев в конструкции, включая термоизолирующий слой.

2.4.1.3. Величину требуемого термического сопротивления $R_{од(тр)}$ вычисляют по формуле:

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

где $R_{пр}$ - приведенное термическое сопротивление, определяемое с помощью номограммы (см п.2.4.1.4);

$K_{од}$ - коэффициент, учитывающий срок службы дорожной одежды между капитальными ремонтами (табл. 2.1);

$K_{увл}$ - коэффициент, учитывающий схему увлажнения рабочего слоя земляного полотна, принимаемый при 2-й и 3-й схемах увлажнения равным единице, а при 1-й схеме увлажнения - по графику рис.2.1.

δ - понижающий коэффициент, принимаемый по табл.2.2.

2.4.1.4. Приведенное термическое сопротивление $R_{пр}$ определяют, используя карту (рис.2.2) и номограмму (рис. 2.3). По карте устанавливают номер расчетной изолинии, отвечающей положению объекта. При расположении объекта между изолиниями расчеты выполняются для двух близлежащих изолиний с последующим осреднением результатов. По номограмме величину $R_{пр}$ определяют методом итерации через отношение $l_{доп}/(C_{пуч}C_р)$ (горизонтальная ось номограммы).

При этом значения $C_{пуч}$ и $C_р$ определяют соответственно по табл. 2.3 и 2.4, а $l_{доп}$ – по табл 1.1.

При назначении величины $C_р$ по табл. 2.3 подбирают допустимую глубину промерзания $h_{пр(доп)}$ таким образом, чтобы получаемому значению отношения $l_{доп}/(C_{пуч}C_р)$ соответствовала величина $h_{пр(доп)}$ на вертикальной оси номограммы, равная принятой при определении $C_р$. Подбор нужно начинать со значения $h_{пр(доп)}$, соответствующего наименьшей допустимой глубине промерзания.

2.4.1.5. При глубине залегания подземных вод на участке дороги, отличающейся от указанных на номограмме (рис.2.3), нужно определить два значения $R_{пр}$. Одно – при значении H_γ на номограмме более, а другое – при значении H_γ на номограмме менее данного. Искомое значение $R_{пр}$ устанавливают методом интерполяции между соответствующими величинами.

Таблица 2.1

№ 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 2.2

Зоны и подзоны	II_1, II_3, II_5	II_2, II_4, II_6	III	IV
δ	1,0	0,95	0,90	0,85

Примечание. Схему дорожно-климатических зон см. МСН 46-2000, прил.2.

Таблица 2.3

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

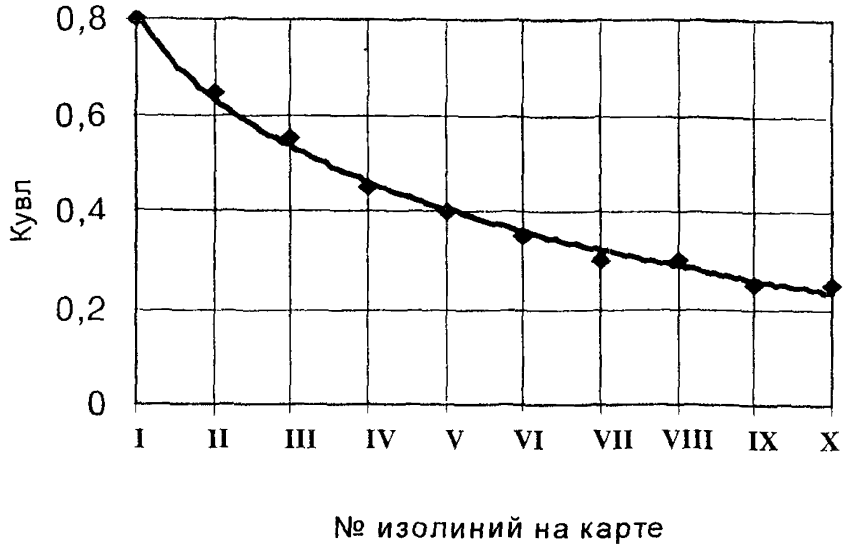


Рис.2.1. График для определения коэффициента $К_{увл}$ при 1-й схеме увлажнения.

Таблица 2.4

Грунт земляного полотна	Значение коэффициента $С_р$ 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 $С_р$ по интерполяции соответствующих величин.

2.4.1.6. Требуемое термическое сопротивление дорожной одежды, при котором пучение грунта исключается ($R_{од(о)}$), определяют по табл.2.5.

Таблица 2.5.

Номер изолинии на карте	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
$R_{од(о)}$	1,05	1,40	1,65	1,95	2,20	2,40	2,65	2,90	3,05	3,25

2.4.1.7. Требуемую толщину теплоизолирующего слоя из «Пеноплэкса» вычисляют по формуле 2.1.

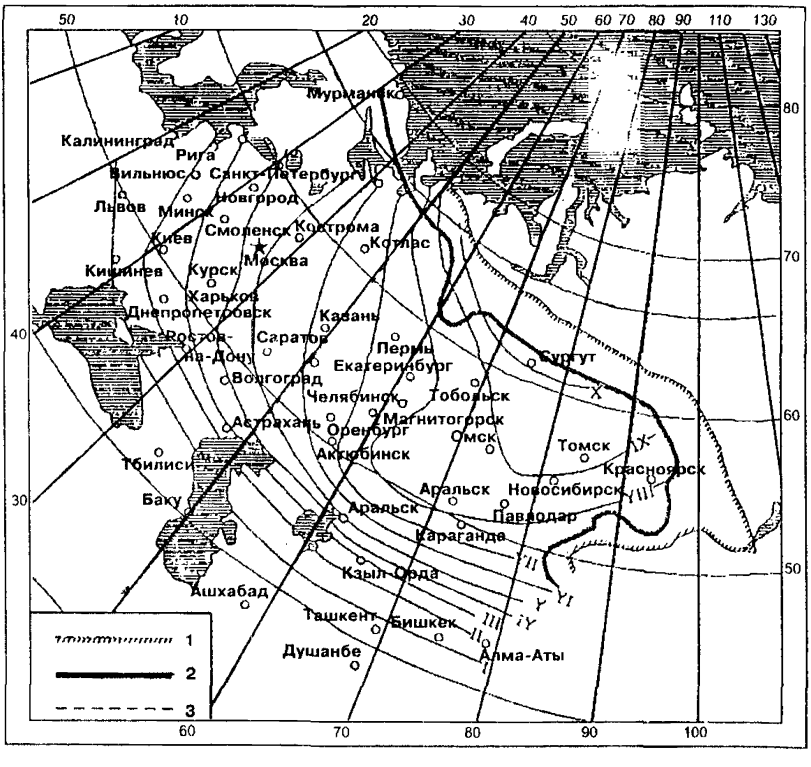


Рис.2.2. Карта с изолиниями для определения требуемых значений термического сопротивления дорожной одежды:
I – X – номера изолиний; 1 – граница сплошного распространения вечномерзлых грунтов; 2 – то же, островного

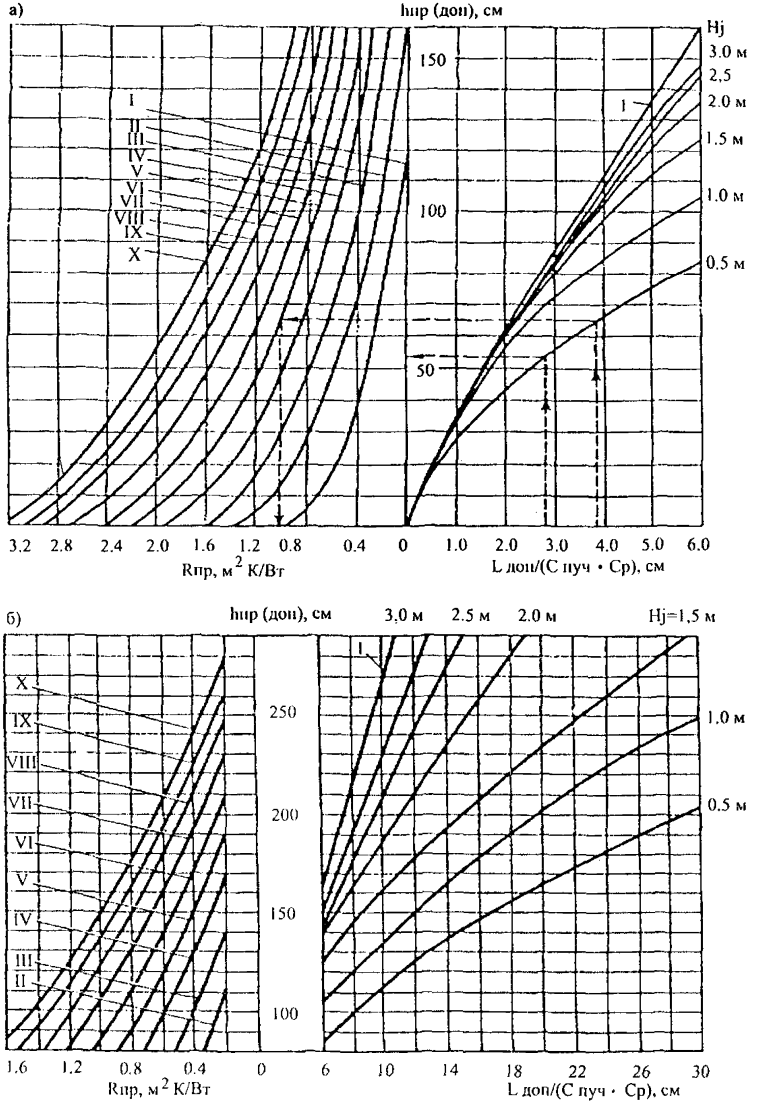


Рис.2.3. Номограмма для определения приведенного термического сопротивления дорожной одежды $R_{пр}$.

I-X — номера изолиний на карте (рис.2.2); 1 — кривая расчета для 1-го и 2-го типов увлажнения рабочего слоя земляного полотна; H_{γ} – глубина залегания расчетного УГВ от низа дорожной одежды, включая морозозащитный слой

Расчет с использованием коэффициента влагопроводности

2.4.1.8. Требуемую толщину (h_s) теплоизолирующего слоя из пеноплэкса устанавливают из соотношения:

$$h_s = \frac{150{,}6 + 0{,}0027\sigma - h_{пр}^{доп}}{13{,}93 - 0{,}067\sigma}, \text{ см}. \qquad (2.3)$$

где $h_{пр}^{доп}$ – допустимая глубина промерзания, см;

σ – характеристика суровости зимнего периода (сумма градусочасов отрицательной температуры, умноженная на 0,001), назначаемая по табл.П.1.7 (см. Приложение).

2.4.1.9. Величина допустимой глубины промерзания $h_{пр}^{доп}$ определяется по формуле:

$$h_{пр}^{доп} = \frac{h_{пуч}^{доп} d}{\rho_{сух}[1{,}09(W_{весср} - W_{нз}) - (W_{пв} - W_{нз})]}, \text{ см}. \qquad (2.4.)$$

где $h_{пуч}^{доп}$ – допустимая величина пучения (табл.1.1), см;

d – плотность воды, г/см^3;

$\rho_{сух}$ – плотность сухого грунта, г/см^3;

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

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

$W_{пв} = (\frac{1}{\rho_{сух}} - \frac{1}{\rho_т})$ – полная влагоемкость в долях единицы;

$\rho_т$ – плотность частиц грунта, г/см^3;

Таблица 2.6

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

Грунт	W_h	$W_{нз}$	$h_{кр}$
Песок пылеватый	0,03 – 0,04	0,02	80
Супесь тяжелая пылеватая	0,09 – 0,01	0,06	130
Суглинок легкий пылеватый	0,12 – 0,13	0,08	120
Суглинок тяжелый пылеватый	0,13 – 0,14	0,09	140
Глина пылеватая	0,19 – 0,21	0,16	150

2.4.1.10. Средняя весенняя весовая влажность грунта вычисляется по формуле:

$$W_{весср} = W_h + [W_н + \Delta W_{опт}(W_{пв} - W_н)] + W_h/C, \qquad (2.5.)$$

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

$W_н$ – начальная влажность грунта;

$\Delta W_{отн}$ – отношение осеннего приращения влажности к максимально возможной величине приращения влажности грунта, устанавливаемое по графику рис.2.4 в зависимости от параметров F и M;

C – коэффициент, определяемый по графику рис.2.5 в зависимости от параметра Z.

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

$$F = \frac{\kappa_{влп} \cdot t_{ал}}{h_в^2}, \qquad (2.6.)$$

$$M = \frac{160 - h_{до}}{h_в}, \qquad (2.7.)$$

$$Z = \frac{L}{2\sqrt{\kappa_{влп}}}, \qquad (2.8.)$$

где $\kappa_{влп}$ – коэффициент влагопроводности, устанавливаемый экспериментально, см^2/час;

$t_{ал}$ – продолжительность периода осеннего влагонакопления, час, принимаемая по табл.П.1.7 (см. Приложение);

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

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

L – характеристика слоя промерзания грунта земляного полотна.

2.4.1.12. Величину L для случаев $\kappa_{влп} \leq 2,0$ см^2/час устанавливают по выражению:

$$L = 1,24 + \sigma^{0,079} - 0,05h_s. \qquad (2.9.)$$

Для случаев $\kappa_{влп}$ $2,1 \div 5,0$ см^2/час используют выражение:

$$L = 1,24 + 0,72\ ln\sigma - 0,05h_s. \qquad (2.10.)$$

2.4.1.13. Поскольку величина h_s в выражении (2.3) входит и в правую часть, определение h_s ведется методом итераций. Для этого задаются величиной h_s, вычисляют правую часть выражения (2.3) и сравнивают результат с принятым значением h_s. Расчет заканчивают, если различие не будет превышать 10%.

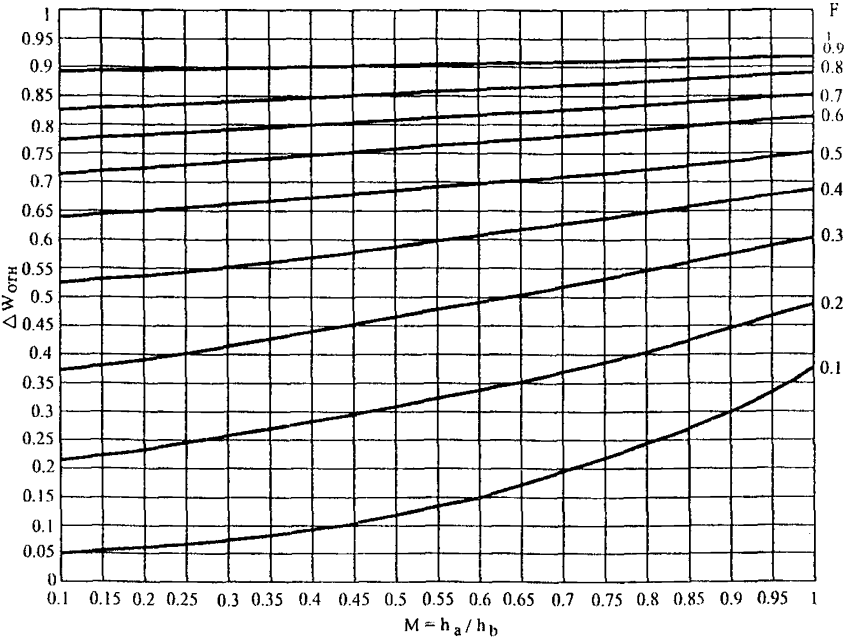


Рис.2.4. Номограмма для определения $\Delta W_{отн}$ при значениях F.

2.4.2. Учет термоизолирующего слоя из «Пеноплэкса» в ***расчете*** *дорожной одежды на прочность.*

2.4.2.1. Проверка на прочность конструкции дорожной одежды с теплоизолирующим слоем из «Пеноплэкса» производится в соответствии с расчетами, предусмотренными ОДН 219.046-00 (для нежестких дорожных одежд) и ВСН 197-91 (для жестких дорожных одежд).

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

$$E^T_{общ} = \frac{E_z}{1 - \frac{2}{\pi}\left[arctg\left(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{h_n}{D_o}\right)\right]\left[1 - \frac{E_z}{E_n}\right]}, \qquad (2.11)$$

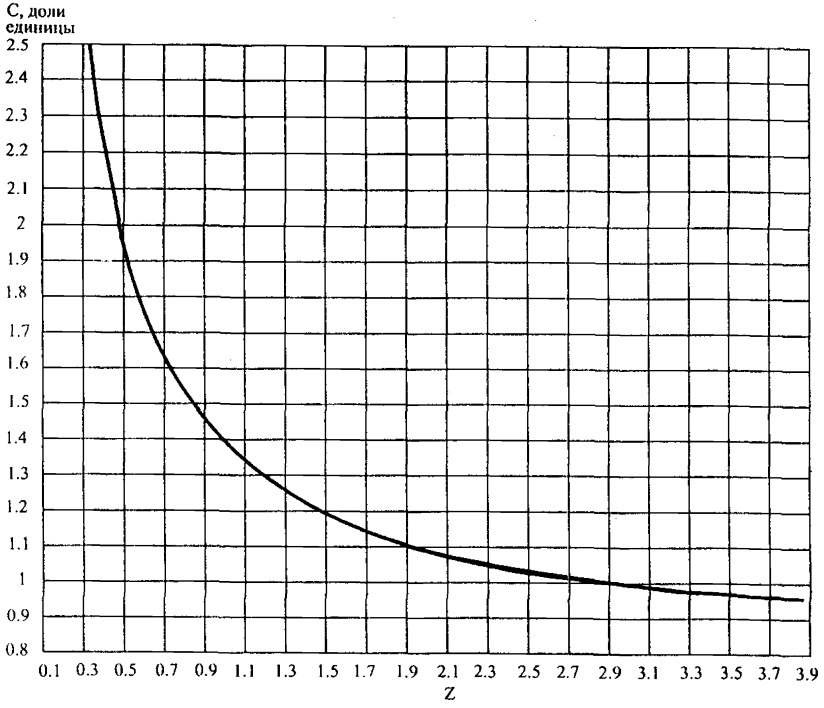


Рис.2.5. График для определения коэффициента С, используемого для вычисления весенней влажности.

где E_z– модуль упругости грунта, подстилающего термоизоляционный слой, МПа, (при слоистой толще принимается общий модуль упругости на поверхности толщи под «Пеноплэксом»), МПа;
$E_п$ – модуль упругости «Пеноплэкса», МПа;
D_o – расчетный диаметр отпечатка колеса, см;
$h_п$ – толщина слоя «Пеноплэкса», см.

Практическое определение величины расчетного модуля $E^{T}_{слоя}$ осуществляют с помощью номограммы (рис.2.7), построенной по зависимости (2.11).

2.4.2.2. При конструировании дорожных одежд со слоями из «Пеноплэкса» следует учитывать, что, исходя из технологических особенностей их устройства, над «Пеноплэксом» должен быть устроен защитный слой из дискретного материала, предохраняющий его от воздействия построечной техники, а под «Пеноплэксом» – выравнивающий слой толщиной

5–10 см. Защитный слой целесообразно устраивать из дренирующего материала.

2.4.2.3. Если между подстилающим грунтом и «Пеноплэксом» имеется прослойка песчаного грунта (дренирующий слой) толщиной более 5 см в выражение (2.2) вместо E_2 подставляется общий модуль на поверхности песчаной прослойки, определяемый по обычной методике. При меньшей толщине песчаной прослойки допускается не учитывать ее влияние в расчете.

2.4.2.4. При применении в конструкции дорожной одежды термоизолирующего слоя из «Пеноплэкса» следует выполнить проверку этого слоя на прочность при одноосном сжатии. Проверка ведется по двум расчетным случаям:

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

Проверка ведется по зависимости:

$$Z_{\text{т}} \geq Z_T^{доп}, \qquad (2.12)$$

где $Z_{\text{т}}$ – глубина расположения прослойки от поверхности, к которой прилагается внешняя нагрузка (поверхность покрытия для условий эксплуатации и поверхность слоя засыпки при строительстве);

$Z_T^{доп}$ – допустимая глубина по условию прочности прослойки на одноосное сжатие.

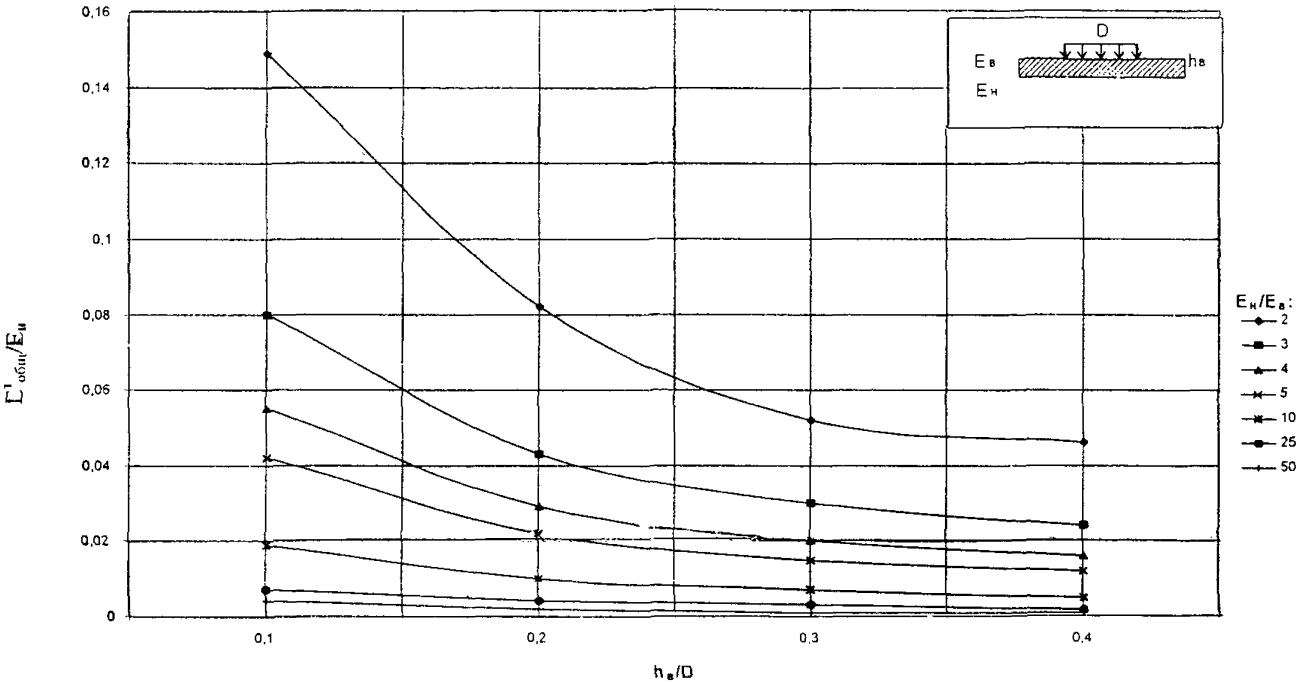


Рис. 2.7. Номограмма для расчета общего модуля двухслойной системы "теплоизолятор - подстилающий грунт":
hв - толщина слоя пенопласта, Ев - модуль упругости пенопласта; Ен - модуль упругости грунта.

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

$$Z_T^{доп} = D\sqrt{\frac{\kappa \cdot P - R}{2{,}5R}}, \text{ м}, \qquad (2.13)$$

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

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

R – прочность «Пеноплэкса» на одноосное сжатие при многократном нагружении, МПа;

κ – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,3.

В случае, если $Z_T < Z_T^{доп}$, прочность «Пеноплэкса» не обеспечена и следует увеличить глубину расположения прослойки.

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

При расчете на условия строительства параметры нагрузки выбираются в зависимости от применяемой техники и технологии устройства слоев, располагаемых над прослойкой «Пеноплэкса».

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

В случае применения при строительстве техники на гусеничном ходу в формулу (2.13) вместо D следует подставить величину $2b$, равную ширине гусеницы, и получаемое по формуле значение $Z_T^{доп}$ увеличить на 20%.

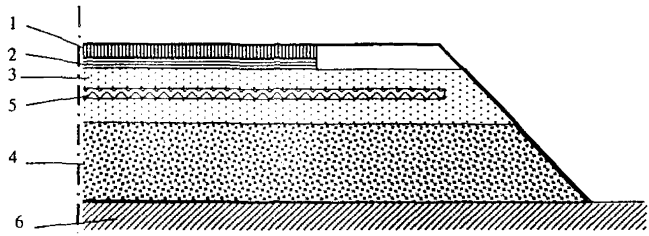
2.4.3. Схемы конструктивных решений дорожных одежд с термоизолирующими слоями из «Пеноплэкса»

2.4.3.1. Принципиальная схема дорожной конструкции с термоизолирующим слоем представлена на рис.2.8.

Прослойка «Пеноплэкса» со смежными слоями образуют единый дополнительный слой основания (ДСО), который может кроме термоизолирующей функции при необходимости нести одновременно функции дренирующего и морозозащитного слоя.

Схема предполагает необходимость:

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



1 - покрытие;
2 - несущее основание;
3 - дополнительный слой основания с термоизолирующей прослойкой;
4 - пучинистый грунт;
5 - термоизолирующая прослойка;
6 - грунт в основании насыпи.

Рис.2.8. Принципиальная схема дорожной конструкции с термоизолирующим слоем (для условий сезонного промерзания).

2.4.3.2. Эффективность теплозащиты достигается:

- правильным расположением теплоизолирующей прослойки в конструкции;
- правильным назначением ее толщины и ширины.

2.4.3.3. Требуемая толщина теплоизолирующего слоя определяется по методике, изложенной в п.2.4.1.

Необходимая ширина теплоизолирующей прослойки 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).

2.4.3.4. 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.

2.4.3.5. Толщина дренирующего слоя определяется расчетом по методике, изложенной в ОДН 218.046-00. Если термоизолирующий слой предусматривает исключение промерзания пучинистого грунта земляного полотна, из расчета дренирующего слоя исключается учет поступления воды снизу.

2.4.3.6. Для учета влияния низкомодульного теплоизолирующего слоя на прочность дорожной конструкции теплоизолирующий слой рассматривается

как элемент земляного полотна. Расчетный модуль земляного полотна с такой прослойкой устанавливается в соответствии с п.2.4.2. С учетом его величины осуществляется расчет дорожной одежды на прочность и назначение ее конструкции по всем условиям прочности.

2.4.3.7. При устройстве слоев дорожной одежды, расположенных выше теплоизолирующей прослойки, возникает опасность разрушения прослойки построечным транспортом или применяемыми дорожными машинами. Для защиты слоя из «Пеноплэкса» толщина засыпки над этим слоем не должна быть менее 30 см (при одноразовой отсыпке). Этот слой при необходимости может быть запроектирован как дренирующий или дополнительный морозозащитный слой.

2.4.3.8. Возможные варианты конструкции дополнительного слоя основания (ДСО) с теплоизолирующей прослойкой «Пеноплэкс» представлены на рис.2.9.

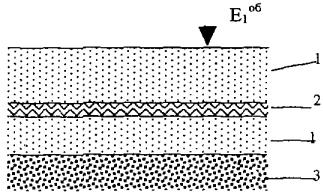
Вариант 1 предусматривает расположение теплоизолирующей прослойки внутри песчаного дренирующего слоя. В этом случае ДСО одновременно может выполнять функции дренирующего, теплоизолирующего и морозозащитного слоя. Толщина ДСО должна быть не менее требуемой по расчету на морозоустойчивость и осушение.

Вариант 2. Здесь ДСО выполняет те же функции, что и в варианте 1. Дренирующая прослойка из геотекстиля позволяет более глубоко расположить «Пеноплэкс» от поверхности ДСО, что обеспечивает повышение общего модуля на поверхности ДСО и может в некоторых случаях позволить снизить толщину дорожной одежды (что проверяется расчетами на прочность).

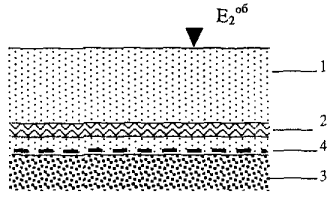
Вариант 3. Этот вариант может быть применен, когда часть толщины дренирующего слоя может быть заменена недренирующим местным грунтом (тем же пучинистым грунтом, что и под «Пеноплэксом»). Толщина слоя недренирующего грунта назначается по расчету на морозное пучение и прочность.

В этом варианте «Пеноплэкс» укладывается на монтажный песчаный слой толщиной 5-10 см. Использование пучинистого грунта над «Пеноплэксом» позволяет замедлять промерзание конструкции по сравнению с песчаным грунтом и частично использовать более дешевый грунт. Указанные предпосылки могут позволить рассматривать вопрос о возможном уменьшении толщины «Пеноплэкса», т.е. в целом — о снижении строительной стоимости конструкции по сравнению с вариантом 1. Вместе с тем общий модуль на поверхности ДСО в данном случае может оказаться ниже, чем в 1-м и 2-м варианте, что потребует усиления дорожной одежды. Решение о выборе оптимального варианта осуществляется на основе расчетов.

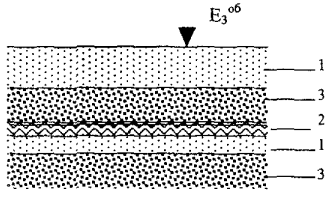
Вариант 1



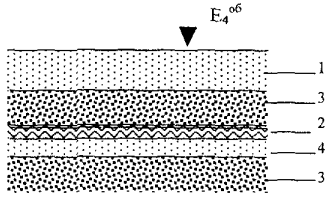
Вариант 2



Вариант 3



Вариант 4



1-песок;
2-«Пеноплэкс»;
3-пучинистый грунт;
4- геотекстиль

Рис. 2.9. Варианты схем конструкций дополнительного слоя основания (ДСО) с применением теплоизоляции из плит «Пеноплэкс»

Вариант 4 отличается от варианта 3 только тем, что в качестве монтажного слоя (играющего также роль дренирующей прослойки под теплоизолятором) используется геотекстиль, обладающий продольной водопроницаемостью.

2.4.3.9. Указанные варианты конструкции ДСО могут быть применены как для нежестких, так и для жестких дорожных одежд. Толщины отдельных прослоек в ДСО назначаются на основе расчетов дорожных одежд на морозоустойччвость, на прочность и на осушение в соответствии с действующими нормами.

2.4.4 Требования к пенополистиролам, используемым в дорожных конструкциях

Теплоизоляционные 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 плит, например, шпунтовка);
- выдерживать нагрузки, возникающие при укладке и уплотнении вышележащих слоев дорожной одежды (испытание на прочность при сжатии);
- выдерживать нагрузки от вышележащих слоев насыпи и транспорта во времени (испытание длительно действующей нагрузкой);
- обладать теплофизическими и прочностными характеристиками, приведенными в табл. 2.1.

Таблица 2.1

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

3. Обеспечение термозащиты дорожной конструкции, сооружаемой на вечной мерзлоте, с помощью термоизолирующего слоя из «Пеноплэкса»

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

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

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 – 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).

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

- температура грунтов на границе нулевых годовых амплитуд ниже –1,5°С;
- широкое развитие мерзлотных процессов и явлений: подземные льды различного генезиса, бугры пучения, наледные участки и т.п.;
- при наличии грунтов IV – V категории просадочности.

В 3-й подзоне I дорожно-климатической зоны (зона островного распространения вечной мерзлоты) проектирование по 1-му принципу допускается при условии понижения температуры грунтов на границе нулевых годовых амплитуд ниже – 1,5°С за счет выполнения специальных конструктивных и технологических мероприятий при соответствующем технико-экономическом обосновании.

3.1.3. Второй принцип применяют при условии залегания в основании насыпи минеральных грунтов I - III категорий просадочности и торфяников I - IV категорий просадочности.

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

3.1.5. Для реализации 1-го принципа могут использоваться следующие способы сохранения мерзлоты:

- устройство из обычных грунтов насыпей высотой, обеспечивающей термозащиту вечной мерзлоты в основании насыпи; требуемая для этого высота насыпи определяется по теплотехническим расчетам;

- устройство в земляном полотне специальных термоизолирующих прослоек (в том числе из «Пеноплэкса»), обеспечивающих сохранение мерзлоты; требуемая толщина прослойки и ее расположение в конструкции определяются теплотехническими расчетами;
- выполнение основных объемов работ по сооружению земляного полотна в зимнее время.

3.2. Сохранение мерзлоты с помощью термоизоляционного слоя из «Пеноплэкса»

3.2.1. Расчет требуемой толщины термоизолирующего слоя

3.2.1.1. Расчет толщины термоизолирующего 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.

3.2.1.2. 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, включая N слоев. Номера слоев (i) изменяются от i=1 для первого сверху слоя до i=N для последнего над мерзлым массивом слоем.

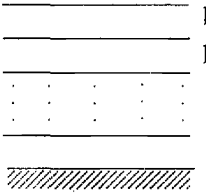


Рис.3.1. Расчетная схема для центральной части дорожной конструкции

Каждый i-й слой характеризуется толщиной (h_i, м), объемной теплоемкостью (C_i, Дж/м^3·К), коэффициентом теплопроводности (λ_i, Вт/м·К), объемной влажностью (W_i, доли единицы).

Внешние факторы, определяющие тепловое воздействие, характеризуются средней за лето температурой воздуха (T_n,°С), продолжительностью периода с положительными температурами (τ_s, сек).

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

$$h_N = \sqrt{\frac{2\lambda_N \cdot T_n(\tau_s - \tau_{N-1})}{c_N \cdot T_n + W_n \cdot L}} + (\beta_N \cdot S_N)^2 - \beta_N \cdot S_N \ , \quad (\text{при } \tau_{N-1} < \tau_s). \qquad (3.1)$$

При $\tau_{N-1} \geq \tau_s$ $\qquad h_N = 0.$

Здесь:

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

$$S_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1} \cdot h_1 + \frac{\lambda_i}{\lambda_2} \cdot h_2 + \ldots + \frac{\lambda_i}{\lambda_{i-1}} \cdot h_{i-1}, \quad \text{(при } 1 \le i \le N,\ h_o = \tau_o = 0\text{)}$$

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

3.2.1.4. Определение необходимой толщины слоя «Пеноплэкса», включаемого в конструкцию, запроектированную по условию сохранения мерзлоты, производится подбором по формулам п.3.2.1.3 при условии, что количество, толщина и теплофизические характеристики остальных слоев конструкции определены по тем или иным соображениям (высота насыпи, прочность дорожной одежды, технологические ограничения и пр.).

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

3.2.1.6. Расчет требуемой для сохранения мерзлоты теплоизоляции конструкции со стороны откосных частей осуществляется по специальной методике, основанной на двумерной теплофизической задаче.

Решение реализуется с помощью программы ПЭВМ.

3.2.2. Учет влияния термоизоляционного слоя из "Пеноплэкса" на прочность дорожной одежды

3.2.2.1. При расположении прослойки из "Пеноплэкса" с защищаемым его мерзлым грунтом на глубине более 1.5 м от поверхности покрытия наличие мерзлого слоя с высоким модулем упругости и низкомодульного термоизолирующего слоя в расчете дорожной одежды на прочность не учитывается. В этом случае в качестве расчетного модуля грунта принимается модуль упругости грунта, расположенного над прослойкой.

3.2.2.2. При расположении прослойки и поверхности мерзлого грунта ближе 1.5 м от поверхности покрытия для учета их влияния на напряженное состояние в расчете принимают модуль подстилающего грунта, определяемый по формуле:

$$E_{гр} = \frac{E_м \cdot h_м + E_т \cdot h_т}{h_т + h_м}, \qquad (3.2)$$

где $E_м$ – модуль мерзлой толщи;

$E_т$ – модуль прослойки;

$h_м$ – условная расчетная толщина мерзлого слоя, см;

$h_т$ –толщина прослойки, см;

3.2.2.3. Расчетную толщину мерзлого слоя $h_м$ определяют по формуле:

$$h_м = 1,5 - Z, \text{ см}, \qquad (3.3)$$

где Z – расстояние от поверхности покрытия до поверхности толщи, сохраняемой в мерзлом состоянии, см;

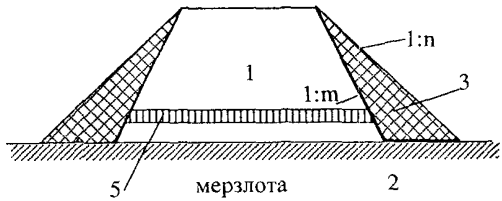
3.2.2.4. Если значение модуля упругости, определяемое по формуле (3.2), окажется больше модуля грунта, расположенного над прослойкой, за расчетный модуль грунтового массива принимается модуль грунта, расположенного над прослойкой.

3.2.3. Схемы конструктивных решений дорожных конструкций, сооружаемых с сохранением грунта в мерзлом состоянии, с использованием термоизолирующего слоя из «Пеноплэкса»

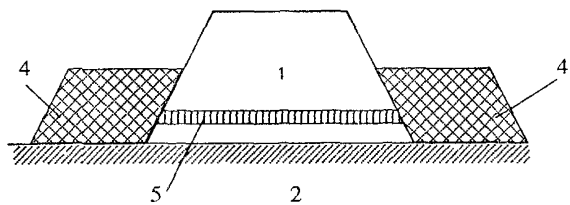
3.2.3.1. В качестве принципиальных вариантов конструктивных решений, предусматриваемых при сохранении грунта в основании или нижней части земляного полотна в мерзлом состоянии, могут предусматриваться (рис.3.2):

- устройство термоизолирующего слоя из "Пеноплэкса" на поверхности основания или в теле насыпи с укрытием (присыпкой) откосной части основной насыпи торфопесчаной смесью. При этом откос присыпки назначается менее крутым, чем откос основной насыпи (рис.3.2.а);
- устройство термоизолирующего слоя из "Пеноплэкса" на поверхности основания или в теле насыпи с устройством теплозащитных берм (призм) из торфа (рис.3.2.б);
- устройство термоизолирующего слоя из "Пеноплэкса" на поверхности основания или в теле насыпи с устройством теплозащитных слоев из "Пеноплэкса" на откосах (рис.3.2.в).

а)



б)



в)

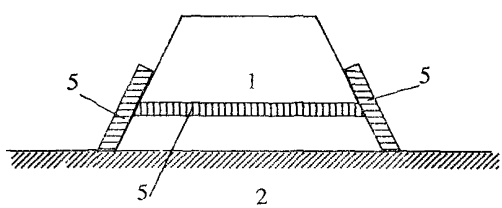


Рис.3.2. Термозащита со стороны откосной части. 1 – основная насыпь; 2 – мерзлота в основании, 3 – термозащитная присыпка; 4 – бермы из торфа; 5 – «Пеноплэкс»

3.2.3.2. Для повышения эффективности термозащиты термоизолирующие слои из «Пеноплэкса» следует комбинировать с торфяными термозащитными слоями.

3.2.3.3. Во всех случаях сохранения мерзлого грунта необходимо наряду с термоизолирующей прослойкой предусматривать устройство гидроизолирующей прослойки (под «Пеноплэксом»).

3.2.3.4. Если в нижней части насыпи используется твердомерзлый комковатый грунт для повышения надежности конструкции следует дополнительно под прослойкой из «Пеноплэкса» предусматривать устройство прослойки из геовеба.

3.2.3.5. Параметры вариантов конструкций должны обосновываться теплотехническими расчетами на основе двухмерной задачи.

4. Условия оптимизации дорожных конструкций с термоизоляционными слоями из пенополистирольных плит «Пеноплэкс»

4.1. Принципы оптимизации конструкций с прослойками из «Пеноплэкса» по строительной стоимости

4.1.1. При применении конструкций с термоизолирующими слоями следует реализовывать возможность получения оптимального решения по строительной стоимости. При такой оптимизации могут учитываться:

- изменение стоимости термоизолирующей прослойки из «Пеноплэкса» в зависимости от требуемой ее толщины и глубины заложения от поверхности покрытия;
- увеличение стоимости земляного полотна при увеличении глубины заложения прослойки (за счет увеличения доли более качественного грунта в общем объеме полотна);
- возможность снижения требуемого возвышения поверхности покрытия над уровнем грунтовых и поверхностных вод на участках насыпей и выемок, где требуемое возвышение без принятия специальных мер определяется условиями увлажнения и промерзания рабочего слоя земляного полотна;
- возможность снижения высоты насыпи в зоне вечной мерзлоты при проектировании по I-му принципу;
- возможность уменьшения толщины дорожной одежды за счет уменьшения расчетной влажности грунта в зоне сезонного промерзания и уменьшения глубины промерзания;
- возможность возникновения необходимости усиления дорожной одежды (при близком расположении низкомодульной термоизолирующей прослойки).

4.1.2. Оптимизация должна осуществляться на основе использования целевой функции:

$$C = [C_в + C_{пр} + C_{нижс} + C_{до} + C_{мз} + C_{от}] \rightarrow min, \qquad (4.1)$$

где C – стоимость дорожной конструкции;

$C_в$ – стоимость верхней части земляного полотна (над прослойкой);

$C_{пр}$ – стоимость прослойки;

$C_{нижс}$ – стоимость нижней части земляного полотна (под прослойкой);

$C_{до}$ – стоимость несущей части дорожной одежды (покрытие + несущее основание);

$C_{от}$ – стоимость откосной части с естественным (торф) или искусственным термоизолятором;

$C_{мз}$ – стоимость морозозащитного и дренирующего слоев дорожной одежды.

4.1.3. При приближенном решении задачи оптимизации следует ограничиться условием $C_{до} = const$. При этом дорожная одежда по прочности должна

быть рассчитана на самый невыгодный случай конструкции рабочего слоя земляного полотна и слоев основания.

4.1.4. В случае устройства теплоизолирующей прослойки для снижения морозного пучения дорожной одежды аналитическое выражение стоимости конструкции в зависимости от глубины залегания прослойки имеет вид:

$$C = c_в\,[(B+mz)z] - bh_{до} + c_н[B(H-z)+ m(H^2 - z^2)] + c_{до}\,bh_н + \\ + c_{мз}h_{мз}b_{мз} + c_{пр}\,h_{пр}\,X_{пр}, \qquad (4.2)$$

где $c_в$ - стоимость единицы объема верхней части земляного полотна (над прослойкой);

$c_н$ – то же, под прослойкой;

H – высота насыпи;

B – ширина полотна;

m – заложение откосов;

z – глубина расположения прослойки;

$h_{до}$ – толщина дорожной одежды;

b – ширина проезжей части;

$c_{до}$ – стоимость единицы объема несущей части дорожной одежды;

$c_{мз}$ – стоимость единицы объема морозозащитного и дренирующего слоев;

$h_{мз}$ – толщина морозозащитного и дренирующего слоя;

$b_{мз}$ – ширина морозозащитного и дренирующего слоя;

$c_{пр}$ – стоимость единицы объема прослойки;

$h_{пр}$ – толщина прослойки;

$h_н$ – толщина несущей части дорожной одежды;

$X_{пр}$ – ширина прослойки.

4.1.5. Толщина прослойки $h_{пр}$ в общем случае является функцией глубины промерзания $z_{пр}$, убывающей при увеличении $z_{пр}$. Характер этой функции может быть установлен на основе теплофизического расчета.

В первом приближении ширину прослойки $X_{пр}$ следует назначать равной ширине земляного полотна (B).

4.1.6. Толщина морозозащитного и дренирующего слоя $h_{мз}$ также является функцией глубины расположения теплоизолирующей прослойки (при заданной ее толщине).

4.1.7. Для определения оптимальной глубины заложения прослойки заданной толщины $h_{пр}$ выражение (4.2) необходимо решить на минимум при $h_{пр}$ $const$.

При устройстве термоизолирующего слоя для исключения оттаивания нижней части насыпи или ее основания используется выражение:

$$C = c_в\,[(B+mz)z^2] - bh_{до} + c_н[B(H-z)+ m(m^2 - z^2)] + C_{до} + \\ + C_{пр}\,h_{пр}\,[(B+2mz)+ C_{от}, \qquad (4.3)$$

где $C_{от}$ – стоимость откосной части из торфа или торфопесчаной смеси.

4.1.8. Оптимизацию дорожных конструкций можно проводить при заданных рабочих отметках полотна или с изменением отметок.

В последнем случае осуществляется общая оптимизация проектного решения с изменением по теплофизическому критерию продольного профиля и сокращением объема или стоимости земляных работ.

4.2. Принципы оценки эффективности конструкций с «Пеноплэксом»

4.2.1. При оценке экономической эффективности теплоизолирующей прослойки в условиях сезонного промерзания за базовую следует принимать конструкцию с морозозащитным слоем требуемой толщины при требуемом по условию водно-теплового режима возвышении земляного полотна над источниками увлажнения.

При оценке экономической эффективности теплоизолирующей прослойки в зоне вечной мерзлоты за базовую следует принимать конструкцию насыпи из дренирующего грунта, высота которой обеспечивает исключение протаивания основания.

4.2.2. При оценке экономической эффективности следует учитывать, что применение конструкций с термоизоляторами обеспечивает удлинение межремонтных сроков дорожной конструкции. До накопления фактических данных по продлению межремонтных сроков следует принимать их удлинение до 10%.

4.2.3. При оценке эффективности дополнительно должны учитываться положительные и отрицательные эффекты:

- от повышения доли зимних работ;
- от снижения нагрузки на окружающую среду;
- от ускорения строительства.

5. Технология и организация устройства термоизолирующих прослоек из «Пеноплэкса» при строительстве дорог

5.1. Устройство теплоизолирующей прослойки из плит «Пеноплэкса»

5.1.1. До устройства теплоизолирующего слоя должны быть выполнены работы:

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

5.1.2. 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 «Пеноплэкс». При соответствующем технико-экономическом обосновании применяют дренирующую

прослойку из геотекстиля. Поперечный уклон дренирующей прослойки принимают не менее 2%.

5.1.3. Для обеспечения равномерного опирания плит на поверхность земляного полотна, как правило, устраивают выравнивающий слой из песка толщиной 5 – 10 см. Распределение песка производят бульдозерами. По подготовленному выравнивающему слою проезд механизмов и автотранспорта не допускается.

5.1.4. Плиты пеноплэкса (125х65 см) укладывают вручную (звено из 2 человек), располагая их длинной стороной вдоль дороги. Выравнивание термоизолирующего слоя производят подсыпкой песка под плиты с контролем нивелировкой. Стыковка плит осуществляется за счет шпунта, имеющегося на плите.

Плиты следует укладывать таким образом, чтобы поперечные швы в соседних рядах плит располагались вразбежку (т. е. в одной точке не должны соединяться 4 плиты) (рис. 5.1).

При двухъярусном теплоизолирующем слое швы нижележащего ряда плит необходимо перекрывать вышележащими плитами. Уложенные плиты закрепляют металлическими стержнями диаметром 6-8 мм и длиной 400 мм. Стержни забивают в плиту заподлицо. При ширине прослойки до 8 м достаточно закрепить крайние ряды плит и 1 – 2 ряда по середине слоя. Каждая плита крайнего ряда должна быть закреплена не менее, чем двумя стержнями. Плиты крайних рядов допускается закреплять, забивая стержни заподлицо с верхом плиты рядом с плитой.

5.1.5. Первый над плитами слой дорожной одежды или земляного полотна должен отсыпаться толщиной не менее 0,30 м в плотном теле по способу «от себя». Распределение песка производят бульдозером. Для уплотнения используют вибрационные уплотняющие средства.

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 пенопластом в соответствии с п.2.4.2.

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

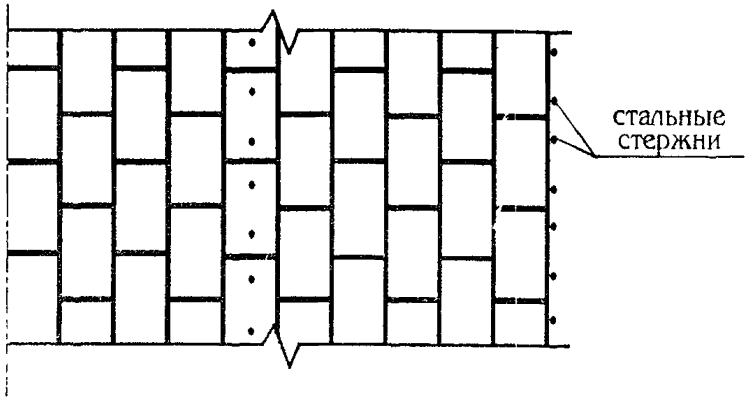


Рис. 5.1. Схема укладки плит «Пеноплэкса» в один ярус

5.2. Особенности организации строительных работ при применении теплоизолирующих слоев из «Пеноплэкса» в зоне вечной мерзлоты

5.2.1. При применении «Пеноплэкса» в условиях вечной мерзлоты для реализации принципа сохранения мерзлоты в основании земляного полотна при соответствующей организации работ частично может быть использован период положительных температур. С этой целью на основе теплотехнических расчетов на стадии производства работ должен быть разработан график строительства, обеспечивающий исключение оттаивания мерзлоты в основании насыпи в течение ограниченного периода при недостроенной конструкции.

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

5.2.2. При проведении работ в соответствии с графиком, указанным в п.5.2.1, 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 термоизолятором;
- временное усиление термоизоляции за счет укладки дополнительных слоев термоизолятора (с последующим их снятием);
- прекращение работ с переносом их на морозный период и т.д.

Генеральный директор В.М.Юманев

Зав. лабораторией
Дорожных одежд,
руководитель темы,
д.т.н., проф. В.Д.Казарновский

Исполнители:
д.г-м. наук, проф. С.Е.Гречищев
к.т.н. Е.С.Пшеничникова

Приложение 1

Расчет величины морозного пучения

П.1.1. Расчет морозного пучения на основе табличных значений расчетных параметров

1.1.1. Величину возможного морозного пучения следует определять по формуле:

$$l_{пуч} = l_{пуч.ср} K_{УГВ} K_{пл} K_{гр} K_{нагр} K_{вл} \quad (П.1.1.)$$

где $l_{пуч.ср}$ - величина морозного пучения при осредненных условиях, определяемая по графикам рис. П. 1.1 в зависимости от толщины дорожной одежды (включая дополнительные слои основания), группы грунта по степени пучинистости (табл.П.1.1.) и глубины промерзания ($z_{пр}$);

$K_{УГВ}$ - коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины залегания уровня грунтовых или поверхностных вод ($H_{у}$) (рис.П.1.2.); при 1-й расчетной схеме 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.1.2.);

$K_{гр}$ - коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки (табл.П.1.3.);

$K_{нагр}$ - коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое и зависящий от глубины промерзания (рис.П.1.3);

$K_{вл}$ - коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта (табл.П.1.4).

Классификация грунтов по степени пучинистости при замерзании

Таблица П.1.1.

Группы грунтов по пучинистости	Степень пучинистости	Относительное морозное пучение
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

1.1.2. Если данные натурных наблюдений отсутствуют, глубину промерзания дорожной конструкции допускается определять по формуле:

$$z_{пр} = z_{пр(ср)} \cdot 1,38, \quad (П.1.2.)$$

где $z_{пр(ср)}$ - средняя глубина промерзания для данного района, устанавливаемая при помощи карт изолиний (рис.П.1.4).

При глубине промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$ до 2 м $l_{пуч.\ ср}$ устанавливают по графикам рис. 4.3. При $z_{пр}$ от 2,0 до 3,0 м $l_{пуч.\ ср}$ вычисляют по формуле:

$$l_{пуч.\ ср} = l_{пуч.\ ср2,0} \cdot [a + b \cdot (z_{пр} - c)]. \qquad (П.1.3)$$

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

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

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

Если при расчетном сроке службы до 10 лет полученная величина возможного пучения будет превышать допустимую, а при сроке службы более 10 лет будет превышать 85 % от допустимой, необходимо рассмотреть вариант устройства морозозащитного слоя.

Таблица П.1.2.

Коэффициент уплотнения $K_{упл}$	$K_{пл}$	
	песок пылеватый, супесь легкая и пылеватая, суглинки, глины	пески кроме пылеватых, супесь легкая крупная
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
менее 0,90	1,5	1,3

Таблица П.1.3.

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

Таблица П.1.4.

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

П.1.2. Определение величины морозного пучения путем использования коэффициента влагопроводности

1.2.1. В соответствии с данной методикой при прогнозировании величины морозного пучения предусматривается последовательное определение средней осенней влажности грунта рабочего слоя ($W_{осср}$), характеристики скорости промерзания (α), средней весенней влажности ($W_{весср}$). При этом учитываются продолжительность периода осеннего влагонакопления ($t_{вл}$), продолжительность периода промерзания ($t_{пр}$), расчетное удаление верха земляного полотна от уровня грунтовых (или поверхностных) вод ($h_в$), характеристика суровости зимнего периода (σ), выражаемая суммой градусо-суток отрицательной температуры воздуха. В табл. П.1.7. приведены значения $t_{вл}$,$t_{пр}$, и σ для 65 пунктов России. При отсутствии в перечне нужного пункта значения этих характеристик берутся для ближайшего по географическому расположению пункта.

1.2.2. Расчет возможной величины морозного пучения поверхности дорожного покрытия ведут с использованием зависимости:

$$h_{пуч} = \frac{h_{пр} \cdot q}{d}\left[1{,}09 \cdot (W_{ВЕССР} - W_{НЗ}) - (W_{ПВ} - W_{НЗ})\right], \qquad (П.1.4)$$

где $h_{пр}$ – глубина промерзания грунта, см; q – плотность сухого грунта, г/см^3; d –плотность воды, г/см^3; $W_{НЗ}$ – влажность (весовая), соответствующая незамерзающей воде, принимается по виду грунта из табл. П.1.5; $W_{ПВ}$ – влажность (весовая) полной влагоемкости, вычисляемая из соотношения

$$W_{ПВ} = \frac{1}{\rho_{сух}} - \frac{1}{\Delta}, \qquad (П.1.5)$$

где $\rho_{сух}$ - плотность сухого грунта, г/см^3;

Δ - плотность скелетных частиц грунта, находящаяся, как правило, в пределах 2,67 – 2, 73.

Таблица П.1.5.

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

Грунт	W_h	$W_{нз}$	$h_{кр}$
Песок пылеватый	0,03 – 0,04	0,02	80
Супесь тяжелая пылеватая	0,09 – 0,01	0,06	130
Суглинок легкий пылеватый	0,12 – 0,13	0,08	120
Суглинок тяжелый пылеватый	0,13 – 0,14	0,09	140
Глина пылеватая	0,19 – 0,21	0,16	150

1.2.3.Полную глубину промерзания грунта $h_{пр}$ определяют из следующих соотношений: при отсутствии теплоизоляционных слоев в составе дорожной одежды

$h_{пр} = \alpha\sqrt{t_{пр}}\cdot 24$; (П.1.6)

при их наличии

$h_{пр} = (150{,}6 + 0{,}0027\cdot\sigma) - (13{,}93 - 0{,}0067\cdot\sigma)\, h_s\cdot\beta$, (П.1.7)

где σ - сумма градусочасов отрицательной температуры, умноженная на 0,001, определяемая для соответствующего региона из таблицы П.1.7;

h_s - толщина слоя эффективной теплоизоляции (пенопласт, пеноплэкс), см;

β = 1 при использовании в качестве теплоизоляции пенопласта или пеноплэкса

1.2.4. Величину отношения $W_{весср}$ /$W_т$, где $W_т$ - влажность грунта земляного полотно на границе текучести в соответствии с данной методикой можно использовать в качестве расчетной относительной влажности при определении прочностных и деформационных характеристик грунта рабочего слоя.

Среднее значение весенней влажности $W_{весср}$ находят из выражения:

$$W_{весср} = W_h + (W_{осср} + W_h)\cdot C, \quad (П.1.8)$$

где W_h - влажность грунта по жидкой фазе в зоне первичного льдовыделения (при температуре грунта –0,5 … –1,0 °С). Значения W_h для разных грунтов приведены в таблице П.1.5;

С – коэффициент, определяемый по графику рис. П.1.5 в зависимости от величины критерия зимнего влагонакопления Z, вычисляемого, в свою очередь, из соотношения:

$$Z = \frac{\alpha}{2\sqrt{K_{вл}}} \quad (П\ 1.9)$$

Характеристику слоя промерзания грунта земляного полотна α определяют из сотношений:

При коэффициенте влагопроводности грунта до 2,0 см^2/ч:

для автомобильных дорог I – II категорий

$\alpha = 1{,}24 + \sigma^{0{,}079} - 0{,}05\cdot h_s$ (П.1.10)

для автомобильных дорог III – IV категорий

$\alpha = 1{,}24 + \sigma^{0{,}079} - 0{,}013\cdot h_s$ (П.1.11)

где h_s - толщина слоя теплоизоляции только из местных материалов (керамзит, керамзитобетон, шлак, золошлаковая смесь, укрепленная цементом и др.);

При коэффициенте влагопроводности грунта 2,1 – 5,0 см^2/ч:

для дорог I – II категорий $\alpha = 1{,}24 + 0{,}72\cdot\ln\sigma - 0{,}05\cdot h_s$; (П.1.12)

для дорог III – IV категорий $\alpha = 1{,}24 + 0{,}72\cdot\ln\sigma - 0{,}013\cdot h_s$. (П.1.13)

При $F_{oh} > 1$ $W_{отн}$ практически не зависит от h_a/h_h, поэтому приводим следующую таблицу значений $W_{отн}$ в зависимости от F_{oh}.

Таблица П 1.6

F_{oh}	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$W_{отн}$	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99

При F_{oh} > или = 2,1 следует принимать, что $W_{отн} = 1$.

$h_{кр}$ – критическая глубина, при которой процесс пучения прекращается. В случае, если $h_{пр} > h_{кр}$, в расчет вводят $h_{кр} = h_{цр}$.

Грунты, характеризующиеся значением коэффициента влагопроводности более 5,0 см/ч при неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях, как правило, не должны применяться для устройства земляного полотна.

Величину $W_{осср}$ определяют по формуле:

$$W_{осср} = W_o + {}_{\Delta}W_{отн}\,(W_{пв} - W_o), \qquad (П.1.14)$$

где W_o - начальная влажность грунта земляного полотна (весовая, доли единицы);

$W_{пв}$ - влажность полной влагоемкости грунта (весовая в долях единицы);

${}_{\Delta}W_{отн}$ - отношение осеннего приращения влажности к максимально возможной величине приращения влажности грунта.

Величину $W_{пв}$ вычисляют из соотношения:

Величину ${}_{\Delta}W_{отн}$ устанавливают по номограмме рис. П.7.2 в зависимости от параметра

$$F = \frac{K_{ВЛП} \cdot t_{ВЛ}}{h_в^2}. \qquad (П.1.15)$$

Величину параметра М, необходимого для использования номограммы рис.П.1.6, определяют по формуле

$$M = (160 - h_{ДО})/h_в, \qquad (П.1.16)$$

где $h_{ДО}$ - суммарная толщина слоев дорожной одежды, см;

$h_в$ - определяется по данным изысканий (обследований).

Таблица П 1.7.

Климатические характеристики регионов России

Условные обозначения: $t_{вл}$ – продолжительность периода осеннего влагонакопления, часы; $t_{пр}$ – продолжительность периода промерзания, сутки; σ - сумма градусочасов отрицательной температуры, умноженная на 0,001

Пункт	$t_{вл}$	$t_{пр}$	σ
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
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
Нижневартовск	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
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
Родино (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 (Примор 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

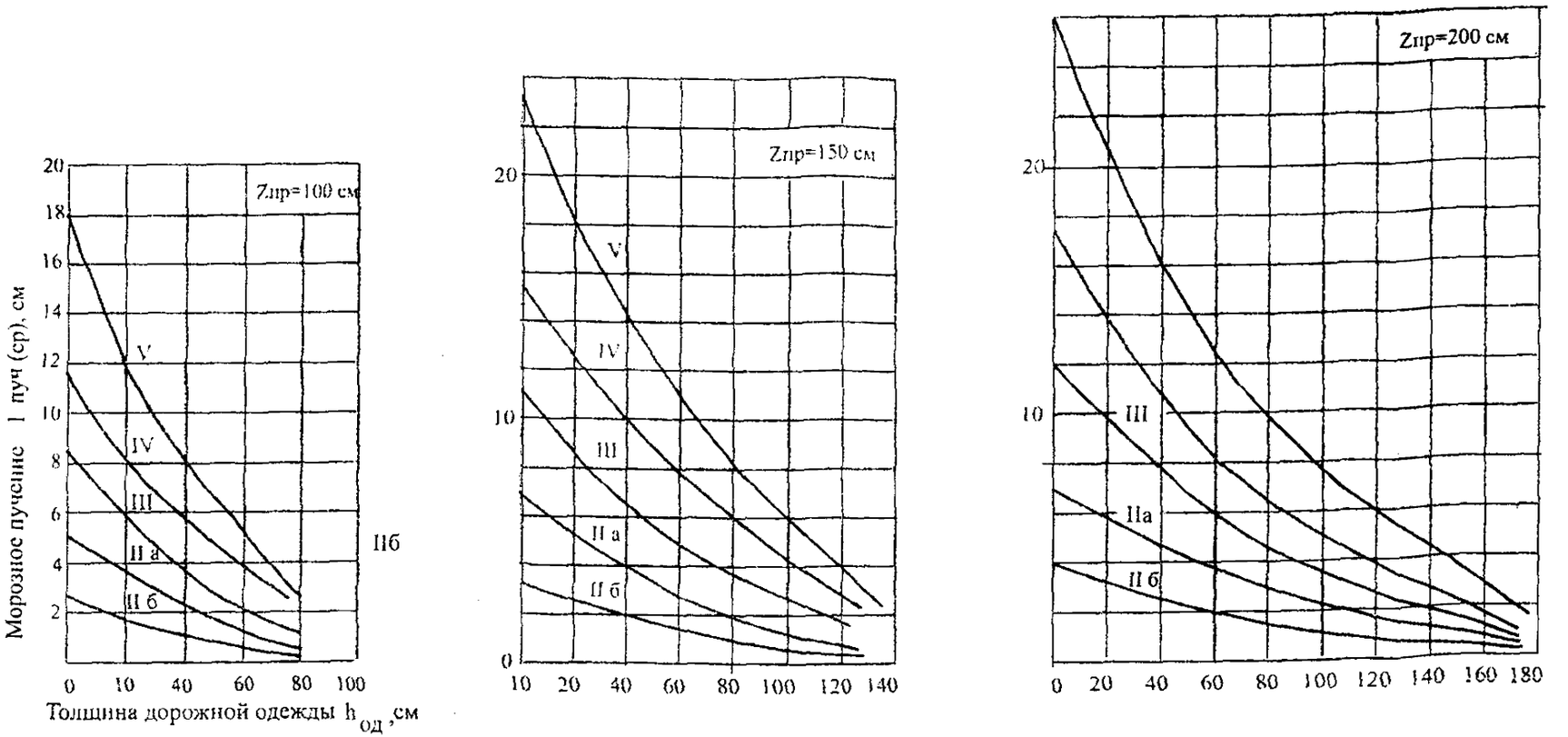


Рис.П.1.1. Графики для определения осредненной величины морозного пучения $l_{пуч.ср.}$

Примечания: 1. *Кривую (II – V) выбирают в соответствии с табл.4.2; 2. Кривую IIа выбирают при 2-й и 3-й схеме увлажнения рабочего слоя, кривую IIб – при 1-й схеме увлажнения.*

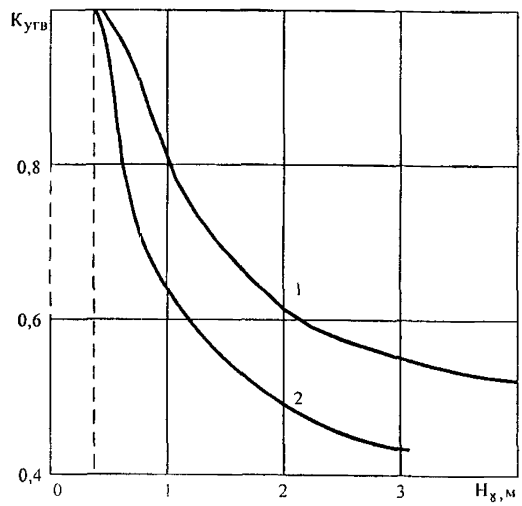


Рис.П.1.2. Зависимость коэффициента $К_{увв}$ от расстояния от низа дорожной одежды до расчетного УГВ или УПВ.
1 – супесь тяжелая и тяжелая пылеватая, суглинок; 2 – песок, супесь легкая и легкая крупная.

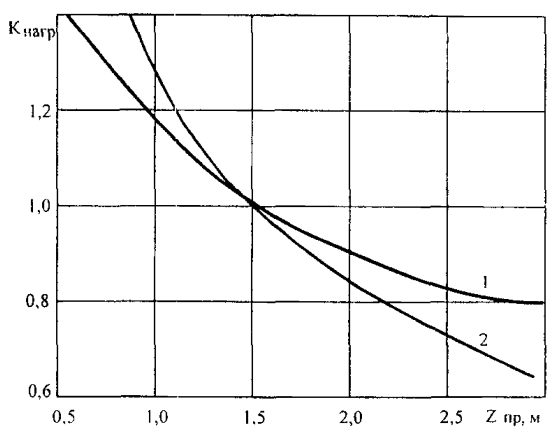


Рис.П.1.3. Зависимость коэффициента $К_{нагр}$ от глубины промерзания $z_{пр}$ от поверхности покрытия:
1 – супесь тяжелая и пылеватая; суглинок; 2 – песок; супесь легкая, крупная

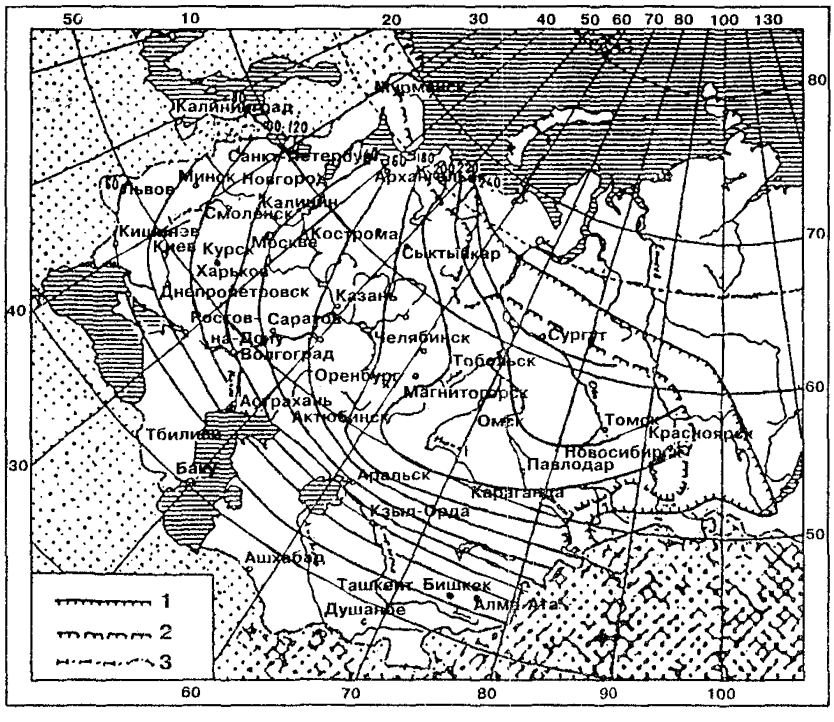


Рис.II.1.4. Карта изолиний глубины промерзания $z_{пр(ср)}$ грунтов на территории СНГ:
1 – граница сплошного распространения вечномерзлых грунтов;
2 – то же, островного; 3 – границы стран СНГ

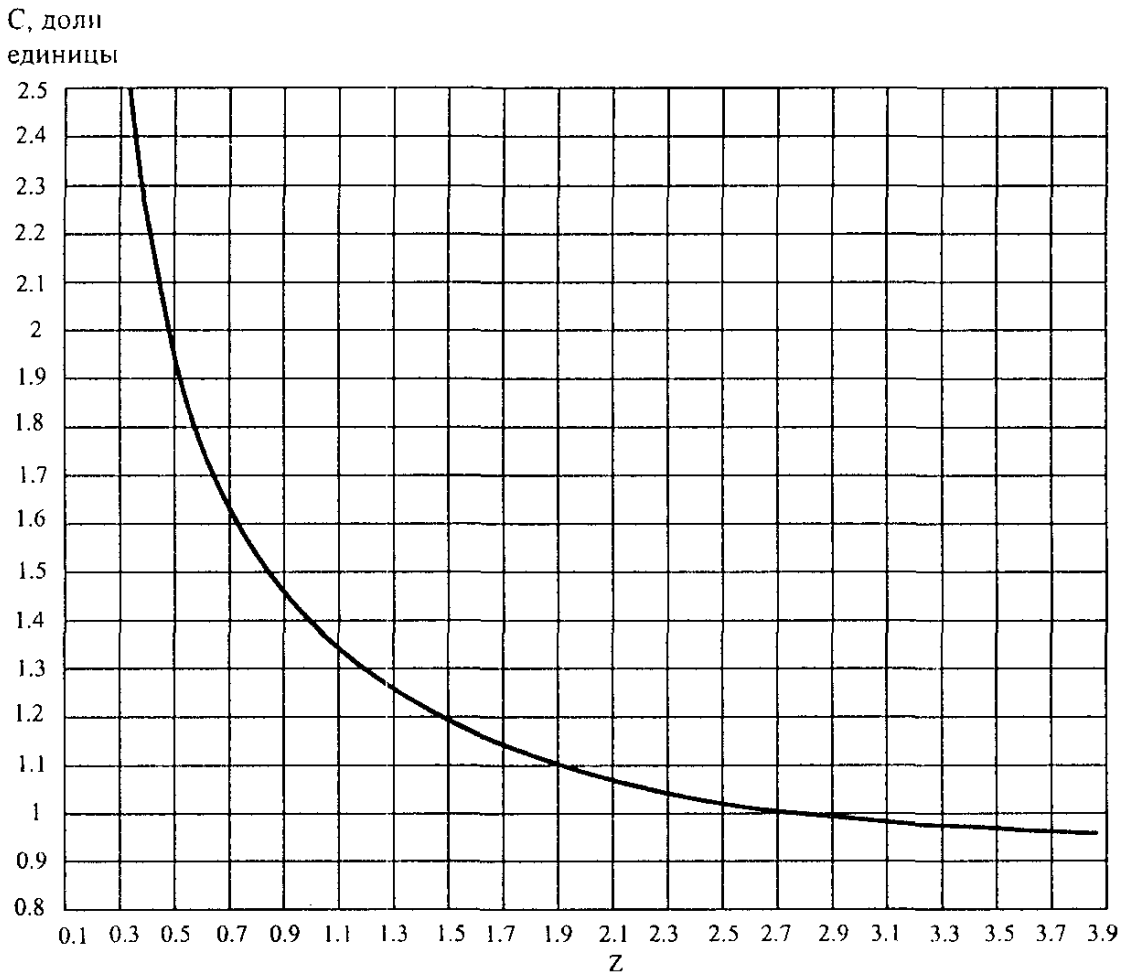
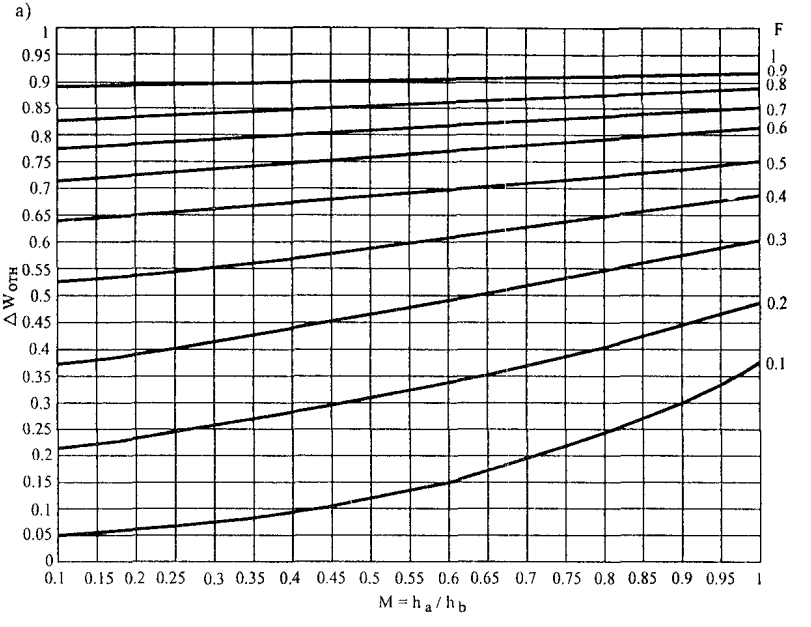


Рис.П.1.5. График для определения коэффициента С, используемого для вычисления весенней влажности

а)



б)

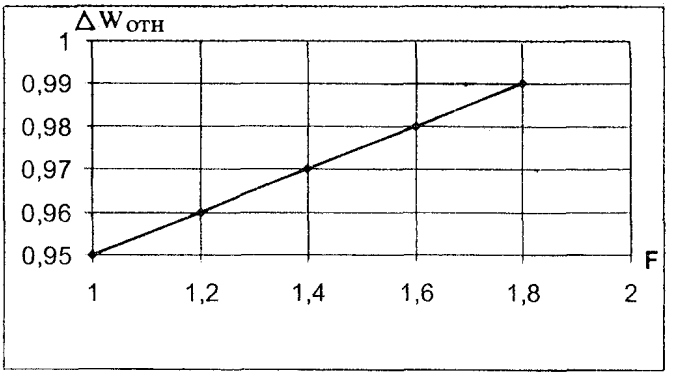


Рис.П.1.6. Номограммы для определения $\Delta W_{отн}$ при значениях F.
а – при F< 1; б – при F≥1.

Приложение 2

Примеры расчета

Пример 1.

Определить толщину теплоизолирующего слоя из «Пеноплэкса» для дороги в районе г. Москвы.

Исходные данные.

1. Дорога III технической категории.
2. Участок дороги расположен во II_2 дорожно-климатической подзоне.
3. Высота насыпи составляет 1,5 м, толщина дорожной одежды - 0,70 м
4. Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.
   Глубина залегания грунтовых вод - 0,5 м
5. Грунт насыпи и естественного основания - суглинок тяжелый пылеватый, который относится к сильнопучинистым грунтам.
6. Конструкция дорожной одежды:
   плотный асфальтобетон - 5 см;
   пористый асфальтобетон -15 см;
   известняковый щебень - 30 см;
   среднезернистый песок - 20 см.
7. Коэффициент теплопроводности «Пеноплэкса» составляет 0,028 Вт/мк.
8. Срок службы дорожной одежды между капитальными ремонтами - 10 лет.

Расчет.

1. По табл. 3 Приложения 1 МСН-2000 определяем коэффициенты теплопроводности материалов конструктивных слоев дорожной одежды:

Материал	Толщина слоя $h_{од(i)}$, см	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{од(i)}$, Вт/(мК)
Плотный асфальтобетон	5	1,40
Пористый асфальтобетон	15	1,25
Известняковый щебень	30	1,39
Крупнозернистый песок	20	2,03*

* Среднеарифметическое значение коэффициентов теплопроводности $\lambda_т$ и $\lambda_м$ для песка в талом ($\lambda_т$)и мерзлом ($\lambda_м$) состоянии:

$$\lambda_{ср} = 1,74 + 2,32 = 2,03 \text{ (Вт/мК)}.$$

Определяем $R_{од(о)}$:

$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{i=n-1} (h_i / \lambda_i) = 0,05:1,40 + 0,15:1,25 + 0,30:1,39 + 0,20:2,03 = 0,47 (м^2К/Вт)$;

2. По табл. 2.3 для сильнопучинистых грунтов находим $C_{пуч} = 1,5$.
   При толщине дорожной одежды $h_{од} = 0,70$ м расстояние от низа дорожной одежды до УГВ H_γ составит 1,3 м.
3. Принимаем допустимую глубину промерзания $h_{пр(доп)}$ 0 - 50 и по табл.2.4 методом интерполяции между $h_{од} = 0,50$ м и $h_{од} = 1,0$ м определяем $C_р = 0,81$.
4. Находим $l_{доп} / C_{пуч} C_р = 4 : (1,5 \cdot 0,81) = 3,3$. При $H_\gamma = 1,3$ м по номограмме рис.2.3 получаем значение $h_{пр(доп)} = 82$ см.
5. Поскольку значение $C_р$ было определено для интервала $h_{пр(доп)}$ 0-50, возвращаемся к табл.2.4 и находим при $h_{пр(доп)} = 0,82$ м и $h_{од} = 0,70$ м
   $C_р = 0,78$. Для этих значений по номограмме рис.2.3 определяем $R_{пр} = 0,86$ и по формуле (2.2)
   $R_{од(тр)} = 0,86 \cdot 0,90 \cdot 1,0 \cdot 0,95 = 0,74$ м^2 К/Вт.
6. По формуле (2.1) определяем толщину теплоизолирующего слоя.

$$h_и = 0,028 Вт/мК \cdot (0,74 - 0,47) \cdot \frac{1}{4} \cdot \sqrt{\frac{0,7}{0,47 \cdot 0,028}} м^2К/Вт = 0,013 м.$$

Полученная толщина теплоизолирующего слоя составляет 1,3 см.

Исходя из минимальной толщины плиты, назначаем толщину теплоизолирующего слоя 3 см.

Расчет окончен.

Пример 2.

Определить толщину теплоизолирующего слоя из "Пеноплэкса" 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 $К_{ВЛ} = 5$ см^2/ч.
6. Начальная влажность $W_и = 0,12$, предел текучести $W_т$=0,18, плотность сухого грунта $\rho_{сух} = 1,66$ г/см^3.
7. Суммарная толщина дорожной одежды, имеющей асфальтобетонное покрытие, равна 60 см.

Расчет.

1. Из табл. П.1.7 находим для Нижнего Новгорода $t_{вл}$ = 1440 ч, $t_{пр}$ = 182 суток, σ = 26,21.
2. Вычисляем по зависимости (2.6) значение критерия осеннего влагонакопления
   $F_{ОН} = K_{ВЛ} \cdot t_{вл}/h^2 = 5 \cdot 1440/ 120^2 = 0,50$;
3. Определяем параметр М в соответствии с (2.7)
   М = (160 – 60)/120 =0,83 см.
4. По графику рис.2.4 находим $\Delta W_{отн}$= 0,73.
5. Приняв ρ_T = 2,68, получим $W_{ПВ}$ = 1/1,66 – 1/2,68 = 0,23.
6. По зависимости (2.10) вычисляем характеристику скорости промерзания
   $L = 1,24 + 0,72 \cdot \ln \sigma - 0,05 \cdot h_s = 1,24 + 0,72 \cdot \ln 26,21 = 3,58$.
7. Используя (2.8), вычисляем критерий зимнего влагонакопления Z.
   Z= 3,59 : 2·√ 5 = 0,80
8. По графику рис.2.5 находим С = 1,50.
9. Для супеси тяжелой пылеватой из табл.2.6 находим W_h = 0,09 и $W_{нг}$ = 0,06.
10. С помощью (2.5) находим
    $W_{ВЕССР} = 0,09 + [0,12+0,73(0,23 – 0,12)–0,09] \cdot 1,50 = 0,26$.
11. По зависимости (2.4) находим величину допускаемой глубины промерзания грунта
    $h_{пр}^{доп}$.

$$h_{пр}^{доп} = \frac{4,1}{1,66[1,09(0,26 - 0,06) - (0,23 - 0,06)]} = 74 \text{ см}.$$

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

$$h_s = \frac{150,6 + 0,0027 \cdot 26,21 - 74}{13,93 - 0,067 \cdot 26,21} = 6,3 \text{ см}.$$

Расчет окончен.

Подписано в печать 25.05.2001 г. Формат бумаги 60х84 1/16.
Уч.-изд.л. 2,9. Печ.л. 3,25. Тираж 300. Изд. № 125. Зак. 79

Адрес ГП «Информавтодор»:
129085, Москва, Звездный бульвар, 21,стр. 1
Тел. (095) 747-9100, 747-9181, тел./факс: 747-9113
e-mail: avtodor@asvt.ru
Ротапринт Информавтодора: Москва, Зеленодольская, 3

gost.e-ecolog.ru