Министерство транспортного строительства

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
(СОЮЗДОРНИИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СОПРЯЖЕНИЙ УЧАСТКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С РАЗНОЙ ВЕЛИЧИНОЙ ПУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КЛИНОВИДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

Одобрены Минтрансстроем

Москва 1980

gost.e-ecolog.ru

УДК 625.731.9.001.5

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СОПРЯЖЕНИЙ УЧАСТКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С РАЗНОЙ ВЕЛИЧИНОЙ ПУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КЛИНОВИДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ. Союздорнии. М., 1980.

Изложены вопросы сопряжения смежных участков автомобильных дорог с разной величиной пучения. Приведены требования к сопряжениям и рекомендуемые конструкции их из разных теплоизоляционных и морозозащитных (стабильных) материалов. На конкретных примерах показаны метод и процесс проектирования сопряжений применительно к основным случаям зимнего поднятия покрытия на смежных участках.

Табл.1, рис.5, библ.3.

© Союздорнии, 1980г.

УДК 625.731.9.001.5

Предисловие

"Методические рекомендации по проектированию сопряжений участков автомобильных доро с разной величиной пучения с помощью клиновидной конструкции теплоизоляции", при разработке которых учтен зарубежный опыт, использованы результаты теоретических и экс - периментальных исследований вопросов теплоизоляции и морозозащиты дорожной конструкции, завершают цикл публикаций, посвященных обеспечению необходимой морозоустойчивости дорожной конструкции в сложных климатических и грунтово-гидрологических условиях.

В настоящих "Методических рекомендациях" рассмотрены вопросы морозоустойчивости дорожной конструкции в местах сопряжения участков с разной высотой зимнего поднятия покрытия и обеспечения здесь требуемой ровности проезжей части. Достигается это путем устройства переходной конструкции клиновидной формы из теплоизоляционного или традиционного морозозащитного материала.

Воздействуя на процессы промерзания грунта земляного полотна и влагонакопления в нем, эта конструкция ограничивает возможное зимнее пучение до допустимых пределов.

В "Методических рекомендациях" изложены требования к сопряжениям и приведены основные типы рекомендуемых конструкций. Приведены примеры проектирования клиновидных конструкций сопряжений.

Настоящие "Методические рекомендации" разработали докт. техн. наук М.Б.Корсунский (раздел 5, общее руководство и редактирование) и канд. техн. наук П.Д.Россовский (разделы 1-4).

Замечания и пожелания просьба направлять по адресу: 143900, Балашиха-6 Московской обл., Союздорнии или 191065, Ленинград, ул.Герцена,19, Ленинградский филиал Союздорнии.

1 Общие положения

1.1. В настоящих "Методических рекомендациях" изложены принципы проектирования переходных конструкций для сопряжения смежных участков автомобильных дорог, на которых возможно неодинаковое зимнее поднятие покрытия, а следовательно, разные величины деформаций, нарушающих ровность проезжей части дороги (рис.1).

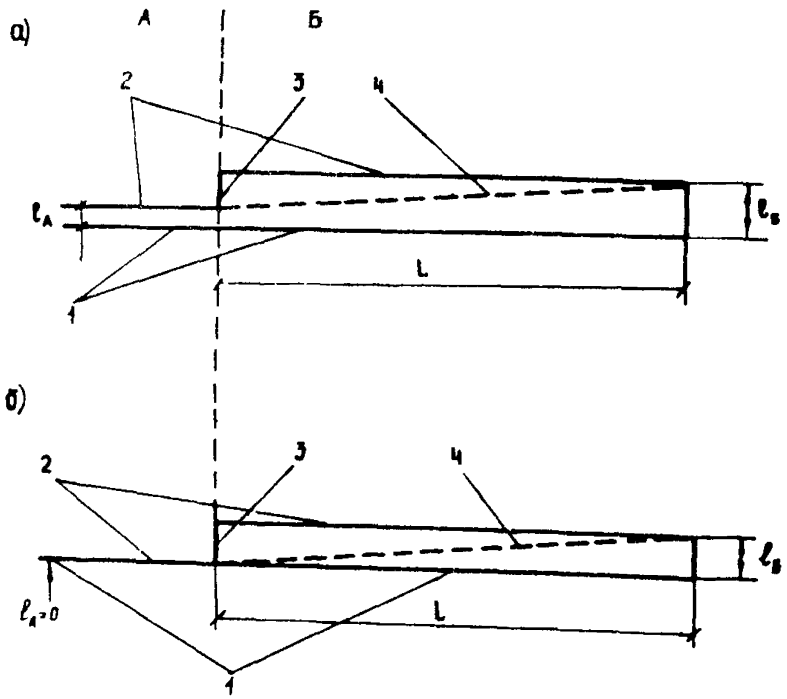

Рис.1. Основные виды зимнего поднятия покрытия на границе смежных участков А и Б, склонных к пучению (а) и на границе непучинистого участка А с пучинистым участком Б (б): 1-положение покрытия перед промерзанием конструкции; 2-ожидаемое положение покрытия после зимнего вспучивания при отсутствии переходной конструкции; 3-разница в величине пучения; 4-уклон покрытия на сопряжении после устройства клиновидной конструкции; L -длина переходного клина

1.2. Конструкция теплоизолирующего или морозозащитного слоя должна иметь клиновидную форму и обеспечивать как величину зимнего поднятия покрытия на концах сопрягаемых участков, необходимую для сохранения ровности проезжей части, так и требуемый продольный уклон.

1.3. В случае, если один участок пучинистый, а другой непучинистый, то клиновидную переходную конструкцию устраивают на пучинистом участке, а если оба участка пучинистые, то на том, где ожидается большее поднятие покрытия.

1.4. Применительно к различным вариантам сопряжения смежных участков с разной величиной пучения разработан метод теплотехнического расчета размеров клиновидной конструкции

1.5. Клиновидную переходную конструкцию в местах сопряжения смежных участков проектируют одновременно с теплоизолирующим или морозозащитным слоем на основном протяжении дороги, так как принципы теплотехнического расчета в обоих случаях одинаковы. При проектировании конструкции следует руководствоваться указаниями настоящих "Методических рекомендаций", а также "Методических рекомендации" /1,2/.

2. Требования к сопряжениям

2.1. Для обеспечения требуемых эксплуатационных качеств дороги переход от одного смежного участка к другому должен быть как можно более плавным, а неравномерное поднятие покрытия не должно превышать допустимой величины.

2.2. Для удовлетворения требований п.2.1 необходимо, чтобы разница зимнего поднятия покрытия на сопрягаемых участках l_A и $l_Б$ не превышала допустимых значений пучения конструкции $l_{доп}$, см /3/, т.е. $l_Б - l_A \leq l_{доп}$, а неравномерность пучения $l_{доп}$,

т.е. отношение разницы поднятия $\ell_{доп}$ к протяжению переходного участка сопряжения L, не превосходила величин, указанных в таблице.

Материал покрытия	Допустимое значение пучения $\ell_{доп}$, см	Допустимый уклон поверхности покрытия на переходном участке $i_{доп}$, ‰, на дорогах категорий		
		I	II	III
Цементобетон	2	1	1	1-2
Горячий асфальтобетон I-II марок	4	1	1-2	3
То же, III-IУ марок	6	-	3	4-5

Примечание. Неравномерность пучения 1 мм/м соответствует уклону поверхности покрытия 1‰.

2.3. Длину теплоизолирующего клина L, м, для обеспечения требуемого уклона поверхности покрытия на переходном участке следует определять по формуле

$$L = 10 \frac{\ell_{доп}}{i_{доп}}, \qquad (1)$$

где 10 - переводной коэффициент.

Величина $i_{доп}$ приведена в таблице.

2.4. Ширина клиновидной конструкции сопряжения должна быть равной ширине устраиваемого на дороге теплоизолирующего или морозозащитного слоя, т.е. конструкция может частично располагаться и под обочиной.

3. Материалы для устройства сопряжений

3.1. Клиновидную конструкцию сопряжения смежных участков можно устраивать из тех же материалов, что и морозозащитный слой на основном протяжении дороги: из теплоизоляционных, обладающих малой теплопроводностью материалов (пенопласт, керамзит, легкие бетоны и др.), и морозозащитных, не изменяющих своего объема при промерзании (гравий, песок, щебень, шлаки

и др.). Требования к качеству материалов для устройства переходных конструкций и для слоев на основном протяжении дороги одинаковы /1,2/.

3.2. При использовании теплоизоляционного материала в форме плиты (пенопласт, горфоплита и др. необходим достаточный запас тонких плит (≈ 1-2 см), позволяющих постепенно изменять толщину теплоизолирующего слоя по длине клиновидной конструкции.

4. Конструкции сопряжений

4.1. В случае сопряжения смежных участков, один из которых имеет теплоизолирующий слой из пенопласта достаточный для полного предотвращения промерзания пучения земляного полотна, а на другом не имеющем такого слоя, ожидается некоторое пучение, переходную конструкцию можно устраивать из пенопласта.

Плиты пенопласта укладывают в несколько слоев с перекрытием швов нижележащих плит верхними плитами. В поперечном профиле дороги плиты выпускают за край проезжей части под обочину на 1,2 м с уменьшением на половину толщины теплоизолирующего слоя на расстоянии 0,6 м от края проезжей части. В продольном направлении дороги общее протяжение переходного участка, на котором число плит пенопласта постепенно уменьшается, составляет не менее 15 м.

4.2. В случае сопряжения смежных участков, на одном из которых предусмотрены меры по полному предотвращению пучения (участок А), а на другом (участок Б) ожидается пучение, возможно также применение переходной клиновидной конструкции, устраиваемой из традиционного морозозащитного материала (рис 2).

Клиновидную конструкцию рассчитывают так, чтобы на одном конце ее (конец участка А) промерзание земляного полотна было полностью предотвращено, а на другом конце, на расстоянии L, м, на участке Б промер -

зание было ограничено, и ожидаемое поднятие покрытия не превышало допустимой величины. Длину переходной конструкции L назначают таким образом, чтобы продольный уклон вспученной поверхности покрытия на сопряжении не превысил допустимой величины (см.таблицу).

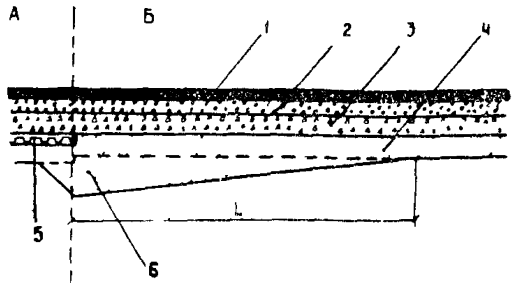

Рис.2. Сопряжение участков ($\ell_A = 0$; $\ell_Б = m$) с помощью клиновидной конструкции из морозозащитного материала: 1–асфальтобетон I марки; 2–то же, III–IУ марок; 3–щебень; 4–песок; 5–пенопласт; 6–клиновидная конструкция

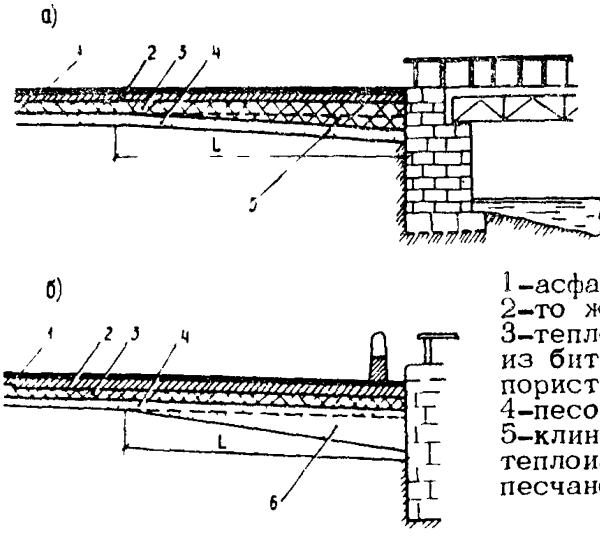

Рис.3. Клиновидная конструкция на подходе к мосту из материалов теплоизоляционного (а) и морозозащитного (б):
1–асфальтобетон I марки; 2–то же, III–IУ марок; 3–теплоизолирующий слой из битумоцементогрунта с пористым заполнителем; 4–песок средней крупности; 5–клиновидное утолщение теплоизоляции; 6–то же, песчаного слоя

4.3. В случае сопряжения с мостом подъездного участка дороги, на котором запроектирована теплоизоляция из битумоцементогрунта с пористым заполнителем (толщину теплоизоляции рассчитывают так, чтобы пучение не превышало $\ell_{доп}$), возможны два варианта переходной клиновидной конструкции.

Первый вариант (рис.3,а). На подходе к мосту на протяжении L толщину теплоизолирующего слоя постепенно увеличивают, чтобы в месте примыкания дорожной конструкции к проезжей части моста промерзание ее, а следовательно, и пучение, было полностью предотвращено.

Второй вариант (рис.3,б). Специальный теплоизолирующий слой ограничивает промерзание земляного полотна, в результате чего толщина устраиваемой здесь клиновидной конструкции из традиционного морозозащитного материала значительно меньше, чем на аналогичных участках без теплоизоляции.

4.4. В случае сопряжения двух участков А и Б, на которых ожидается разное пучение, обусловленное особенностями подстилающего грунта (на участке А грунт пучинистый, поэтому величина зимнего поднятия покрытия здесь больше, чем на участке Б), переходную клиновидную конструкцию устраивают на участке А из песка (можно использовать керамзит, металлургические шлаки золы уноса и др.), в результате чего на протяжении L переходного сопряжения высота поднятия покрытия снизится постепенно до высоты поднятия покрытия участка Б, что обеспечит плавный переход от одного участка к другому (рис.4).

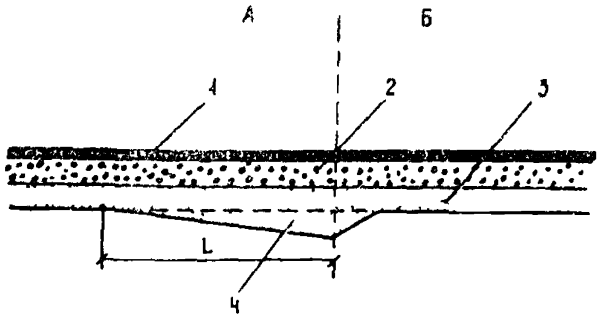

Рис.4. Сопряжение двух участков с разной высотой поднятия покрытия ($\ell_А > \ell_Б$):
1–асфальтобетон I–II марок; 2–щебень; 3–песок; 4–переходный морозозащитный клин из песка, керамзита, металлургических шлаков, зол уноса и т.п.

5. Проектирование сопряжений (примеры)

Рассмотрим примеры расчета клиновидной конструкции сопряжения смежных участков с использованием теплоизолирующих либо морозозащитных материалов.

Пример 1. Требуется запроектировать переходную конструкцию между двумя участками автомобильной дороги с теплоизолирующими слоями из цементогрунта с керамзитом.

Дорога II категории находится во II дорожно-климатической зоне 3-й тип местности по условиям увлажнения согласно СНиП II-Д. 5-72 "Автомобильные дороги. Нормы проектирования", расчетная глубина залегания грунтовых вод - 160 см от поверхности покрытия.

Конструкции дорожной одежды на участках А и Б представлены на рис.5.

Грунт земляного полотна на участке А - легкий пылеватый суглинок ($W_т$ =0,3; $W_р$ =0,15).

Расчет по "Методическим рекомендациям" /1/ показал, что глубина промерзания земляного полотна z на этом участке в самый неблагоприятный год за период между капитальными ремонтами не превысит 37 см от нижней поверхности теплоизолирующего слоя, а высота зимнего поднятия покрытия $\ell_А$ составит 4 см.

Грунт земляного полотна на участке Б - супесь пылеватая ($W_т$ =0,25; $W_р$ =0,18). Расчетом по "Методическим рекомендациям" /1/ установлено, что на этом участке z =26 см, а $\ell_Б$ = 2 см.

Поскольку на участке А ожидается бóльшее пучение, чем на участке Б, то на нем и устраивают переходную конструкцию, чтобы в месте стыковки участков А и Б уменьшить пучение до 2 см.

Необходимо установить толщину слоя цементогрунта с керамзитом $h_{А,Б}$ в этом месте переходной конструкции и длину L

Величину $h_{А,Б}$ рассчитывают, руководствуясь "Ме-

тодическими рекомендациями" /1,2/, в следующем порядке:

1. Определяют коэффициенты теплоусвоения материалов слоев трехслойной модели, к которой приводят дорожную конструкцию участка А.

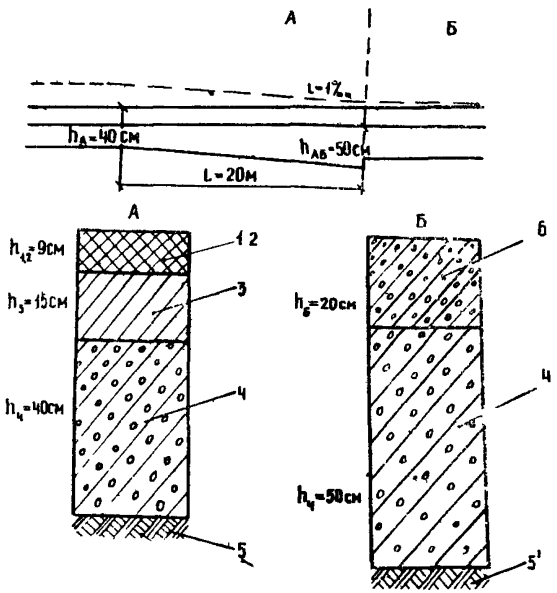

Рис.5. Схема переходной конструкции между смежными участками А и Б с разной высотой пучения и конструкция дорожной одежды на этих участках: 1-2-покрытие - двухслойный горячий асфальтобетон I марки; 3-верхний слой основания - асфальтобетон III марки; 4-нижний слой основания - цементогрунт с керамзитом; 5-земляное полотно - легкий пылеватый суглинок; 5'-земляное полотно - супесь непылеватая; 6-покрытие - цементобетон; - - - - зимнее поднятие покрытия на основном протяжении участков; ——————то же, на сопряжении

По данным /1-3/ принимают те же расчетные значения теплофизических характеристик материалов слоев и грунтов дорожной конструкции, что и при основном теплотехническом расчете конструкции участка А:

а) для верхнего и нижнего слоев асфальтобетона I марки коэффициент теплопроводности $\lambda_{1,2}$=1,04Вт/(м·К); удельная теплоемкость $C_{1,2}$ =1,68·10^{3}Дж/(кг·К);плотность $\gamma_{1,2}$=2350 кг/м^3;

б) для асфальтобетона III марки:

λ_3=0,99 Вт/(м·К); C_3 =1,68·10^{3}Дж/(кг·К); γ_3 =2300кг/м^3;

в) для цементогрунта с керамзитом

λ_4=0,58Вт/(м·К); C_4 =0,92·10^{3}Дж/(кг·К); γ_4 =1500кг/м^3;

г) для мерзлого грунта земляного полотна - легкого пылеватого суглинка

λ_5=1,97Вт/(м·К); C_5 =1,13·10^{3}Дж/(кг·К); γ_5 =2000кг/м^3.

Многослойную конструкцию приводят к эквивалентной ей по теплофизическим свойствам трехслойной модели, заменяя слои, лежащие над изоляцией, одним слоем толщиной $h = h_{1,2} + h_3$.

Эквивалентный коэффициент теплопроводности верхнего слоя по формуле (9) работы /1/

$$\lambda_{1,3} = \frac{h_{1,2} + h_3}{\frac{h_{1,2}}{\lambda_{1,2}} + \frac{h_3}{\lambda_3}} = \frac{0,09+0,15}{\frac{0,09}{0,9} + \frac{0,15}{0,85}} = 1,01 \text{ Вт/(м·К)} .$$

Эквивалентные удельная теплоемкость и плотность по формулам (10)-(11) "Методических рекомендаций" /1/ соответственно

$$C_{1,3} = \frac{h_{1,2} C_{1,2} + h_3 C_3}{h_{1,2} + h_3} = 1,68 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг·К)};$$

$$\gamma_{1,3} = \frac{h_{1,2} \gamma_{1,2} + h_3 \gamma_3}{h_{1,2} + h_3} = \frac{0,09 \cdot 2350 + 0,15 \cdot 2300}{0,24} = 2320 \text{ кг/м}^3.$$

Значения коэффициентов теплоусвоения $S=\sqrt{\lambda c \gamma \omega}$, Вт/(м^2·К)[x], для материалов трехслойной модели оказались следующими:

$$S_1=\sqrt{1,01\cdot1,68\cdot10^3\cdot2320} = 1970 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)};$$

$$S_2=\sqrt{0,58\cdot0,92\cdot10^3\cdot1500} = 895 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)};$$

$$S_3=\sqrt{1,97\cdot1,13\cdot10^3\cdot2000} = 2110 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

2. Устанавливают закономерность годового изменения температуры поверхности покрытия.

По приложению 4 "Методических рекомендаций" /1 / принимают следующие значения среднегодовой температуры воздуха $t_{вм}$, амплитуды годовых колебаний температуры $A_{вм}$ и их среднеквадратичных отклонений σ_t, σ_A: $t_{вм}=3,7^oC$, $\sigma_t = 0,9^oC$, $A_{вм}=12,8^oC$, $\sigma_A = 2,1^oC$.

При этих статистических характеристиках температуры воздуха по формулам (1) и (2) указанного приложения "Методических рекомендаций" /1/ определяют надежностью 0,95 (капитальный тип покрытия), что среднегодовая температура воздуха в расчетном году $t_{в.ср} = t_{вм}-\sigma_t\theta = 3,7-0,9\cdot1,64 = 2,2^oC$, а амплитуда колебания температуры воздуха $A_в=A_{вм}+\sigma_A\theta = 12,8+2,1\cdot1,64=16,2^oC$.

В этом случае среднемесячная температура воздуха самого холодного месяца

$$t_{в\,min}=t_{в.ср}-A_в=2,2-16,2=-14^oC,$$

а самого теплого

$$t_{в\,max}=t_{в.ср}+A_в=2,2+16,2=18,4^oC.$$

---

x) В дальнейшем под корнем опущен постоянный множитель ω - частота годовых колебаний температуры, 1/с, так как в расчетах используются лишь отношения S_1/S_2 и S_1/S_3

Далее по приведенным ниже формулам находим, что среднемесячная температура поверхности асфальтобетонного покрытия в самом холодном и самом теплом месяце соответственно

$$t_{n.min} = \frac{4(\pi - 1)}{3\pi} t_{в.min} = \frac{4 \cdot (3,14-1)}{3 \cdot 3,14} \cdot (-14) = -12,7^{\circ}C;$$

$$t_{n.max} = \frac{4(\pi + 1)}{3\pi} t_{в.max} = \frac{4 \cdot (3,14+1)}{3 \cdot 3,14} \cdot 18,4 = 32,5^{\circ}C.$$

Отсюда среднегодовая температура поверхности покрытия в расчетном году и амплитуда годовых колебаний температуры соответственно

$$t_{n\,ср} = \frac{t_{n.max} + t_{n.min}}{2} = \frac{32,5-12,7}{2} = 9,9^{\circ}C;$$

$$A_n = \frac{t_{n.max} \quad t_{n.min}}{2} = \frac{32,5+12,7}{2} = 22,6^{\circ}C.$$

3. По формуле (7) "Методических рекомендаций" /1/ определяют допустимую глубину промерзания земляного полотна от нижней поверхности теплоизолирующего слоя

$$Z_{доп} = \frac{\ell_{доп}}{K_{луч}} = \frac{2}{0,109} \approx 18,4 \text{ см}.$$

Как указано выше, величина пучения $\ell_{луч}$ не должна превышать 2 см.

Коэффициент пучения $K_{луч}$ данного грунта согласно формуле (8) "Методических рекомендаций" /1/

$$K_{луч} = \frac{1,86 \cdot B}{\alpha_o} = \frac{1,86 \cdot 5}{85} = 0,109,$$

где $B = 5 см^2/сут$; $a_0 = 85\ см^2/сут$ согласно "Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа" ВСН 46-72 (М. "Транспорт", 1972).

4. По формуле (6) "Методических рекомендаций"/1/ вычисляют допускаемое значение произведения средневзвешенной температуры поверхности земляного полотна t и продолжительности промерзания его τ

$$[t\tau] = \frac{z^2_{доп}\,\rho\,(W_т - W_п)\gamma_{dм}}{2\lambda} = \frac{(0{,}184)^2 \cdot 3{,}35 \cdot 10^5\,(0{,}3-0{,}11)\cdot 2}{2 \cdot 1{,}97} =$$

$$= 10{,}9 \cdot 10^5\,с \cdot {}^{o}C = 301\,ч \cdot {}^{o}C.$$

Численные значения параметров этой формулы взяты из приложения 5 "Методических рекомендаций" /1/.

5. Устанавливают допускаемую амплитуду колебаний температуры поверхности земляного полотна (низа теплоизоляции)

$$[A(h+\delta)] = t_{п.ср} + [t_1 + t_{зам}].$$

Для этого по графику рис.8 "Методических рекомендаций" /1/ при $\frac{t\tau}{t_{п.ср}} = \frac{301}{9{,}9} = 30{,}4$ ч находят значение $\frac{t_1}{t_{п.ср}} = 0{,}035$, откуда $t_1 = 9{,}9 \cdot 0{,}035 = 0{,}3^{o}C$, а $[t_1 - t_{зам}] = 0{,}3 + 0{,}6 = 0{,}9^{o}C$. Таким образом, $[A(h+\delta)] = 9{,}9 + 0{,}9 = 10{,}8^{o}C$.

6. С помощью номограмм приложения 6 "Методических рекомендаций" /1/ определяют толщину теплоизолирующего слоя $h_{A,5}$ (см.рис.5).

Чтобы воспользоваться указанными номограммами, предварительно вычисляют следующие вспомогательные параметры и соотношения:

$$\frac{[A(h+\delta)]}{\lambda_п} = \frac{10{,}8}{22{,}6} = 0{,}48; \quad \frac{c_1}{c_2} = 2{,}2; \quad \frac{S_1}{S_2} = 0{,}94;$$

коэффициенты температуропроводности:

$$a_{1,3} = \frac{\lambda_{1,3}}{C_{1,3} \cdot \gamma_{1,3}} = \frac{1,01}{1,68 \cdot 10^3 \cdot 2320} = 0,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$a_2 = \frac{\lambda_2}{C_2 \cdot \gamma_2} = \frac{0,58}{0,92 \cdot 10^3 \cdot 1500} = 0,42 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с},$$

комплекс $$h\sqrt{\frac{\omega}{2a_{1,3}}} = 0,24\sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 0,26 \cdot 10^{-6}}} = 0,15 \text{ м},$$

где ω – частота годовых колебаний температуры; $\omega = 7,2 \cdot 10^{-4}$ 1/ч или $2 \cdot 10^{-7}$ 1/с.

По номограмме приложения 6 "Методических рекомендаций" /1/ при $S_1/S_3 = 1$ и $h\sqrt{\frac{\omega}{2a_{1,3}}} = 0,15$ находят, что $\delta\sqrt{\frac{\omega}{2a_2}} = 0,31$, а при $S_1/S_3 = 0,9$ $\delta\sqrt{\frac{\omega}{2a_2}} = 0,29$.

Следовательно, для $S_1/S_3 = 0,94$ $\delta\sqrt{\frac{\omega}{2a_2}} = 0,3$,

Отсюда $$\delta = 0,3\sqrt{\frac{2 \cdot 0,42 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-7}}} = 0,61 \text{ м}.$$

С учетом влияния теплового потока от грунтовых вод толщина теплоизолирующего слоя в месте примыкания к участку Б должна быть равна $h_{А,Б} = 0,8 \cdot \delta = 0,8 \cdot 0,61 \cong 50$ см.

Длину переходной клиновидной конструкции находят по формуле (1) настоящих "Методических рекомендаций"

$$L = \frac{10 \cdot l_{доп}}{i_{доп}} = \frac{10 \cdot 2}{1} = 20 \text{м}.$$

Значения $i_{доп}$ приведены в таблице настоящих "Методических рекомендаций".

Пример 2. Требуется запроектировать примыкание к мосту участка дороги с теплоизолирующим слоем из пенопласта.

Дорога II категории находится во II дорожно-климатической зоне, 3-й тип местности по условиям увлажне-

ния; расчетная глубина залегания грунтовых вод – 170см от поверхности покрытия.

На участке дороги запроектирована следующая конструкция дорожной одежды: двухслойное асфальтобетонное покрытие общей толщиной 9 см; слои основания: верхний – асфальтобетонная смесь III марки – 10 см; нижний – щебень известняковый – 15 см; слой песка средней крупности – 10 см; теплоизолирующий слой толщиной 4 см из пенопласта ПС-4.

Грунт земляного полотна – супесь тяжелая пылеватая ($W_т = 0,29$, $W_р = 0,24$).

Расчет по "Методическим рекомендациям" /1/ показал, что глубина промерзания земляного полотна z в самый неблагоприятный год за период между капитальными ремонтами составит 43 см от нижней поверхности теплоизолирующего слоя, а ожидаемое зимнее поднятие покрытия достигнет примерно 4 см.

Необходимо установить толщину изоляции $h_м$ в месте примыкания участка дороги к мосту и длину переходной клиновидной теплоизолирующей конструкции.

Толщину изоляции $h_м$ находят из условия предотвратить пучение в месте примыкания участка к мосту.

Порядок теплотехнического расчета тот же, что и в первом примере.

1. Определяют коэффициенты теплоусвоения материалов слоев применительно к трехслойной модели, к которой приводят многослойную дорожную конструкцию участка.

По табл.5 "Методических рекомендаций" /3/ принимают те же расчетные значения теплофизических характеристик материалов слоев и грунтов дорожной конструкции, что и при основном теплотехническом расчете конструкции:

а) для асфальтобетона:

коэффициент теплопроводности $\lambda_{1,2,3} = 1,04$ Вт/(м·К); удельная теплоемкость $C_{1,2,3} = 1,68 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К); плотность $\gamma_{1,2} = 2350$ кг/м^3, $\gamma_3 = 2300$ кг/м^3;

б) для известнякового щебня:

$\lambda_ч$ =1,39Вт/(м·К); $C_ч$ =0,92·10³Дж/(кг·К); $\gamma_ч$=1600кг/м³;

в) для песка средней крупности:

λ_5=2,44Вт/(м·К); C_5 =0,92·10³Дж/(кг·К); γ_5 =1950кг/м³;

г) для полистирола ПС-4:

λ_6=0,052Вт/(м·К); C_6 =1,47·10³Дж/(кг·К); γ_6 =60 кг/м³;

д) для супеси тяжелой пылеватой:

$\lambda_т$=2,03Вт/(м·К); $C_т$ =1,01·10³Дж/(кг·К); $\gamma_т$ =2100кг/м³.

Слой, эквивалентный по теплофизическим свойствам слоям, лежащим над теплоизоляцией (см.пример 1), имеет следующие значения параметров:

$\lambda_{1,э}$=1,31 Вт/(м·К); $C_{1,э}$ =1,26·10³Дж/(м·К); $\gamma_{1,э}$ =1990кг/м³.

Расчетные значения коэффициентов теплоусвоения S_i для материалов трехслойной модели равны S_1=1812, S_2 = =67,7, S_3= 2075.

2. Устанавливают закономерность изменения температуры поверхности покрытия.

По приложению 6 "Методических рекомендаций" /1/ принимают следующие значения среднегодовой температуры воздуха $t_{в.м}$, амплитуды годовых колебаний температуры $A_{в.м}$ и их среднеквадратичных отклонений $t_{в.м}$ =4,8°С; σ_t = 0,95°С; $A_{в.м}$ = 13,85°С; σ_A = 1,3°С.

Среднегодовая температура и амплитуда годовых колебаний температуры воздуха в расчетном году с надежностью 0,95 (капитальный тип покрытия), найденные по формулам, приведенным в примере 1: $t_{в.ср}$ = 3,3°С; $A_в$ = =16°С.

Среднемесячные температуры воздуха самого холодного и самого теплого месяцев соответственно $t_{в.min}$ = =-12,7°С и $t_{в.max}$= 19,3°С.

Далее находят температуры асфальтобетонного покрытия в самом теплом месяце (см.пример 1)

$$t_{п.min} = K_1 \frac{4(\pi - 1)}{3\pi} \cdot t_{в.min} = 1,33 \frac{4(3,14-1)}{3 \cdot 3,14} (-12,7) = -15,3°С;$$

$$t_{n.max} = K_2 \frac{4(\pi+1)}{3\pi} t_{в\,max} = 1{,}125 \quad \frac{4(3{,}14+1)}{3 \cdot 3{,}14} \cdot 19{,}3 = 38{,}2^{\circ}C.$$

Среднегодовая температура поверхности покрытия в расчетном году и амплитуда годовых колебаний температуры соответственно $t_{n.ср} = 11{,}5^{\circ}C$, $A_n = 26{,}7^{\circ}C$.

3. Определяют толщину теплоизолирующего слоя в месте примыкания к мосту $h_м$.

Чтобы грунт земляного полотна не промерзал, амплитуда колебания температуры на его поверхности должна составлять $A(h+\delta) = t_{n\,ср} + t_{зам} = 11{,}5 + 0{,}3 = 11{,}8^{\circ}C$, а соотношение амплитуд $\frac{A(h+\delta)}{A_n} = \frac{11{,}8}{26{,}7} = 0{,}44$.

Располагая этими соотношениями амплитуд и коэффициентов теплоусвоения $S_1/S_2 = 26{,}8$ и $S_1/S_3 = 0{,}875$, а также значениями коэффициентов температуропроводности $a_{1,3} = 0{,}53 \cdot 10^{-6} м^2/с$, $a_2 = 0{,}58 \cdot 10^{-6} м^2/с$ находят по номограмме приложения 6 "Методических рекомендаций" /1/ толщину теплоизолирующего слоя.

При $\frac{S_1}{S_3} = 0{,}9$, $\frac{A(h+\delta)}{A_n} = 0{,}44$ и $\frac{S_1}{S_2} = 26{,}8$, $h\sqrt{\frac{\omega}{2a_1}} = 0{,}19$ получают $\delta\sqrt{\frac{\omega}{2a_2}} = 0{,}0235$, а при $\frac{S_1}{S_3} = 0{,}8$ и тех же остальных параметрах получают $\delta\sqrt{\frac{\omega}{2a_2}} = 0{,}0215$. Тогда при $\frac{S_1}{S_2} = 0{,}875$ $\delta\sqrt{\frac{\omega}{2a_2}} = 0{,}023$, а $\delta = 0{,}023\sqrt{\frac{0{,}58 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-7}}} = 0{,}06м =$ =6 см. Длину переходной теплоизолирующей клиновидной конструкции находят по формуле (1) настоящих "Методических рекомендаций"

$$L = \frac{10 \cdot \ell_{доп}}{i_{доп}} = \frac{10 \cdot 4}{2} = 20м.$$

Пример 3. Требуется запроектировать клиновидную конструкцию сопряжения двух участков автомобиль-

ной дороги из морозозащитного материала - песка средней крупности.

Сопрягаемые участки дороги II категории находятся во II дорожно-климатической зоне, 3-й тип местности по условиям увлажнения, расчетная глубина залегания грунтовых вод H = 200 см от поверхности покрытия, расчетная глубина промерзания дорожной конструкции Z = 180 см.

Земляное полотно на участке А возведено из легкого суглинка (пучинистый грунт), на участке Б - из мелкого песка (слабопучинистый грунт).

Для обеспечения требуемой прочности на участках А и Б запроектированы различные конструкции дорожной одежды, но из одинаковых материалов: покрытие из горячего асфальтобетона, укладываемого в два слоя общей толщиной 10 см, основание - из щебня толщиной 25 см на участке А и 20 см на участке Б. На участке А под щебеночным основанием предусмотрен слой песка средней крупности толщиной 40 см.

Проверка морозоустойчивости дорожных конструкций по ВСН 46-72 показала, что ожидаемое пучение в расчетном году на участке А l_A не превысит 4,2см, $l_{доп\,A}$ = =4 см, а на участке Б $l_Б$ составит 2,8 см.

Клиновидную конструкцию сопряжения из морозозащитного материала располагают на участке А.

Расчет этой конструкции сводится к определению по ВСН 46-72 толщины морозозащитного слоя $h_{АБ}$ в месте контакта участков, обеспечивающей здесь величину пучения, равную $l_{АБ}$ = 2,8 см, а также к назначению длины переходного участка L.

Может быть принят следующий порядок расчета толщины морозозащитного слоя $h_{АБ}$ из песка средней крупности.

1. По ВСН 46-72 принимают климатический показатель α_o = 100 $см^2$/сут, а комплексную характеристику пучинистых свойств легкого суглинка B = 3,5$см^2$/сут.

2. Находят, что комплекс $\frac{\ell_{АБ}\cdot\alpha_0}{Bz}=\frac{2,8\cdot100}{3,5\cdot180}=0,45$,

а отношение $\frac{z}{H}=\frac{180}{200}=0,9$.

3. По номограмме рис.24 ВСН 46-72 при $\frac{\ell_{АБ}\cdot\alpha_0}{Bz}=0,45$ и $\frac{z}{H}=0,9$ находят, что $\frac{z_1}{z}=0,56$, откуда $z_1=0,56\cdot180=101$ см.

4. По формуле (20) ВСН 46-72 определяют толщину слоя песка средней крупности в месте примыкания к участку Б:

$$h_{А,Б}=\frac{z_1-h_a\varepsilon_a-h_щ\varepsilon_щ}{\varepsilon_п}=\frac{101-10\cdot1,15-25\cdot1,00}{0,9}=72\text{ см},$$

где h_a и $h_щ$ – толщины асфальтобетонного покрытия и щебеночного основания;

$\varepsilon_a, \varepsilon_{щ}, \varepsilon_п$ – эквиваленты теплотехнических свойств асфальтобетона, щебня и песка.

Длину переходного участка с клиновидной конструкцией сопряжения определяют по формуле (1) настоящих "Методических рекомендаций"

$$L=10\frac{\ell_{доп}}{i_{доп}}=10\frac{\ell_{пучА}-\ell_{пучБ}}{1,5}=10\frac{4,2-2,8}{1,5}=10\text{м}.$$

Значение $i_{доп}=1,5‰$ принято по таблице настоящих "Методических рекомендаций".

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по проектированию и устройству теплоизолирующих слоев на пучиноопасных участках автомобильных дорог. Союздорнии. М., 1977.

2. Методические рекомендации по проектированию и устройству на автомобильных дорогах конструктивных теплоизолирующих слоев из цементогрунтов с пористыми заполнителями. Союздорнии. М., 1978.

3. Методические рекомендации по совершенствованию проектирования дорожных одежд нежесткого типа. Союздорнии. М., 1978.

gost.e-ecolog.ru