

Министерство транспорта Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«РОССИЙСКИЙ ДОРОЖНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ» (ФГУП «РОСДОРНИИ»)

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский
дорожный научно-исследовательский институт» (ФГУП «РОСДОРНИИ»)

УДК 691.6
№ государственной регистрации 01201367684
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
_____ К.В. Могильный
« ____ » _____ 2013 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Анализ области рационального применения и разработка предложений по
применению пеностекла при строительстве (реконструкции), капитальном
ремонте, ремонте и содержании автомобильных дорог и искусственных
сооружений

по теме:

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
ПЕНОСТЕКЛА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ (РЕКОНСТРУКЦИИ),
КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ, РЕМОНТЕ И СОДЕРЖАНИИ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ
(промежуточный)

Договор № 64/35-06/13 от 28.06.2013 г., доп. соглашение №1 от 20.08.2013 г.,
этап 1

Руководитель темы
Директор центра внедрения
прогрессивных технологий, к.т.н.

_____ А.А. Домницкий

Москва 2013

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы
Директор центра внедрения
прогрессивных технологий,
канд. техн. наук

А.А. Домницкий

«27» сентября 2013 г

Исполнители темы:

Заместитель директора центра
внедрения прогрессивных
технологий

А.С. Козин

«27» сентября 2013 г

Эксперт отдела организации и
внедрения прогрессивных
технологий

А.Б. Волков

«27» сентября 2013 г

РЕФЕРАТ

Отчет 37 с., 5 рис., 9 табл., 8 источников.

ПЕНОСТЕКольный ЩЕБЕНЬ, ПЕНОСТЕКЛО, ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА, МОРОЗОЗАЩИТНЫЙ СЛОЙ, АЙСИЭМ ГЛАСС КАЛУГА

Объектом исследований является пеностекольный щебень производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга».

Цель работы – разработка научно обоснованных предложений по применению пеностекла при строительстве (реконструкции), капитальном ремонте, ремонте и содержании автомобильных дорог и искусственных сооружений.

Методология проведения работ – анализ нормативных документов, построение расчетных моделей напряженно-деформированного состояния конструкции дорожной одежды, техническое сравнение традиционной и разработанной конструкции дорожных одежд, оценка соответствия требованиям отраслевых нормативных и методических документов.

В результате выполнения 1 этапа работы на примере конструкции дорожной одежды с пеностекольным щебнем технически обосновано основное направление его применения. Определены субъекты Российской Федерации, в которых целесообразно применение пеностекольного щебня.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Основные положения расчета.....	6
2 Расчет конструкции дорожной одежды с применением слоя из пеностеклянного щебня.....	11
2.1 Исходные данные для расчета.....	11
2.2 Определение суммарного расчетного количества приложений расчетной нагрузки за срок службы.....	12
2.3 Определение основных параметров конструкции.....	13
2.4 Определение расчётных характеристик грунта.....	14
2.5 Расчет по допускаемому упругому прогибу.....	15
2.6 Проверочный расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости в грунте с устройством основания из пеностеклянного щебня.....	16
2.7 Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости в слое основания из пеностеклянного щебня.....	19
2.8 Расчёт конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.....	20
2.9 Расчёт на морозоустойчивость.....	22
3 Расчет дренающего слоя.....	27
4 Анализ возможности применения пеностеклянного щебня в регионах РФ в слоях основания и морозозащитных слоях.....	30
5 Анализ действующих документов системы технического регулирования.....	33
6 Анализ возможности применения пеностеклянного щебня в регионах РФ в слоях основания и морозозащитных слоях.....	34
Заключение	36
Список использованных источников.....	37

ВВЕДЕНИЕ

Конструктивные слои из пеностекольных материалов успешно используются в качестве теплоизолирующих и морозоустойчивых слоев дорожной одежды в Европе. Такая теплозащита, по информации открытых источников, может применяться как альтернатива устройству традиционных морозозащитных слоев для снижения деформации пучения при промерзании конструкции, уменьшения высоты насыпи, как альтернатива устройству термоизоляции из торфа в зоне вечной мерзлоты, исключая просадки полотна при оттаивании его основания.

В настоящее время за рубежом в дорожном строительстве применяется исключительно пеностекольный щебень, преимущественно полученный по технологии «Schaumglas». Материал представляет собой куски пеностекла неправильной формы размером 10-80 мм с колотой поверхностью и открытой ячеистой структурой на поверхности гранул. Получают пеностекольный щебень фактически по классической порошковой технологии пеностекла за исключением стадии отжига. Последнее обстоятельство приводит к разрушению пеностекольной массы, но позволяет выпускать материал с высокой производительностью. В настоящее время рынок пеностекольного щебня в Европе оценивается в несколько миллионов кубометров ежегодно.

Использование пеностекольного щебня в дорожном строительстве связано с невысокой стоимостью материала в сравнении с другими пеностекольными материалами и возможностью укатки материала при уплотнении дорожного полотна. Последнее обстоятельство объясняется разрушением колотых граней материала при его уплотнении в слое. То есть, использование пеностекольного щебня в дорожных одеждах при строительстве дорог за рубежом определяется не исключительными теплофизическими или механическими свойствами материала относительно иных пеностекольных материалов, а его относительно невысокой

стоимостью и укладываемостью.

В то же время в Российской Федерации отсутствует опыт внедрения, а также нормативно-технические и методические документы, регламентирующие применение пеностекла в дорожном хозяйстве.

Для определения области рационального применения и разработка предложений по применению пеностекольного щебня производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» при строительстве (реконструкции), капитальном ремонте, ремонте и содержании автомобильных дорог и искусственных сооружений был произведен расчет вариантов дорожной одежды с использованием пеностекольного щебня на основе данных, предоставленных Заказчиком.

1 Основные положения расчета

Расчет производится по ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд [1] с учетом требований СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги [2].

Под прочностью дорожной одежды понимают способность сопротивляться процессу развития остаточных деформаций и разрушений под воздействием касательных и нормальных напряжений, возникающих в конструктивных слоях и подстилающем грунте от расчетной нагрузки (кратковременной, многократной или длительно действующей однократной), приложенной к поверхности покрытия.

Методика оценки прочности конструкции включает как оценку прочности конструкции в целом (с использованием эмпирической зависимости допускаемого упругого прогиба от числа приложений нагрузки), так и оценку прочности с учетом напряжений, возникающих в отдельных конструктивных слоях и устанавливаемых с использованием решений теории упругости.

Дорожную одежду проектируют с требуемым уровнем надежности, под которой понимают вероятность безотказной работы в течение межремонтного периода. Отказ конструкции по прочности физически может характеризоваться образованием продольной и поперечной неровности поверхности дорожной одежды, связанной с прочностью конструкции (поперечные неровности, колея, усталостные трещины), с последующим развитием других видов деформаций и разрушений (частые трещины, сетка трещин, выбоины, просадки, проломы и т.д.). Номенклатура дефектов и методика количественной оценки их определяется специальными нормами, используемыми при эксплуатации дорог.

В качестве количественного показателя отказа дорожной одежды как элемента инженерного сооружения линейного характера используют предельный коэффициент разрушения K_p^{np} , представляющий собой

отношение суммарной протяженности (или суммарной площади) участков дороги, требующих ремонта из-за недостаточной прочности дорожной одежды, к общей протяженности (или общей площади) дороги между корреспондирующими пунктами. Значения K_p^{np} на последний год службы в зависимости от капитальности дорожной одежды и категории дороги принимают в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Требуемые минимальные коэффициенты прочности при заданных уровнях надежности для расчета дорожных одежд по различным критериям прочности

Тип дорожной одежды		Капитальный										
Категория дороги		I		II		III			IV			
Предельный коэффициент разрушения K_p^{np}		0,05					0,10					
Заданная надежность K_n		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80
Требуемый коэффициент прочности K_{np}^{Tp} по критерию:	упругого прогиба	1,50	1,30	1,38	1,20	1,29	1,17	1,10	1,17	1,10	1,06	1,02
	сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90	0,87
Тип дорожной одежды		Облегченный										
Категория дороги		III			IV				V			
Предельный коэффициент разрушения K_p^{np}		0,15										
Заданная надежность K_n		0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80	0,95	0,90	0,80	0,70
Требуемый коэффициент прочности K_{np}^{Tp} по критерию:	упругого прогиба	1,29	1,17	1,10	1,17	1,10	1,06	1,02	1,13	1,06	0,98	0,90
	сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90	0,87	1,00	0,94	0,87	0,80
Тип дорожной одежды		Переходный										
Категория дороги		IV						V				
Предельный коэффициент разрушения K_p^{np}		0,40										
Заданная надежность K_n		0,95	0,90	0,85	0,80	0,95	0,90	0,80	0,70			
Требуемый коэффициент прочности K_{np}^{Tp} по критерию:	упругого прогиба	1,17	1,10	1,06	1,02	1,13	1,06	0,98	0,90			
	сдвига и растяжения при изгибе*	1,00	0,94	0,90	0,87	1,00	0,94	0,87	0,80			

Прочность конструкции количественно оценивается величиной коэффициента прочности. При оценке прочности конструкции в целом по допускаемому упругому прогибу коэффициент прочности в общем виде определяют по формуле (1):

$$K_{np} = l_{\text{доп}} / l = E_{\text{об}}^{mp} / E_{\text{об}} \quad (1)$$

При оценке прочности конструкции по слоям по допускаемым напряжениям коэффициент прочности определяют по формуле (2):

$$K_{np} = \sigma_{\text{доп}} / \sigma_{\text{расч}}, \quad (2)$$

где $l_{\text{доп}}$ - допустимый общий прогиб конструкции под расчетной нагрузкой;

l - расчетный общий прогиб конструкции под расчетной нагрузкой;

$\sigma_{\text{расч}}$ - расчетные действующие напряжения (нормальные или касательные) от расчетной нагрузки;

$\sigma_{\text{доп}}$ - допустимые напряжения (нормальные или касательные) от расчетной нагрузки;

$E_{\text{об}}^{mp}$ - требуемый общий модуль упругости конструкции, определяемый при расчетной нагрузке;

$E_{\text{об}}$ - расчетный общий модуль упругости конструкции, определяемый при расчетной нагрузке.

Для обеспечения заданной надежности (обеспеченности по прочности) коэффициент прочности проектируемой конструкции по каждому из расчетных критериев не должен быть ниже минимального требуемого значения, определяемого по таблице 1.

В задачу расчета входит определение толщин слоев одежды в вариантах, намеченных при конструировании, или выбор материалов с соответствующими деформационными и прочностными характеристиками при заданных толщинах слоев.

Отказ дорожной одежды связанный с недостаточной ее прочностью может возникнуть в результате:

-накопления до истечения заданного срока службы конструкции под воздействием касательных напряжений, возникающих в конструктивных слоях и подстилающем грунте от транспортной нагрузки, недопустимых остаточных деформаций с потерей ровности поверхности покрытия и соответствующим снижением скорости движения;

-усталостных разрушений монолитных слоев конструкции под воздействием растягивающих напряжений от многократного приложения транспортной нагрузки с последующей интенсивной потерей дорожной одеждой транспортно-эксплуатационных свойств до истечения заданного срока службы.

В соответствии с этим расчет на прочность в слоях выполняют по допускаемым напряжениям на сдвиг в слоях с пониженной сопротивляемостью сдвигу и на растяжение при изгибе в монолитных слоях.

Расчет прочности конструкции в целом, без рассмотрения механизма нарушения прочности, ведется по допустимому упругому прогибу (или требуемому общему модулю упругости).

Расчетные значения прочностных характеристик (сдвиговые характеристики и прочность на растяжение при изгибе) конструктивных слоев определяют через нормативные значения этих характеристик, используя формулу 3:

$$M_p = \bar{M}_p (1 - v_t t), \quad (3)$$

где M_p - расчетное значение прочностной характеристики;

\bar{M}_p - нормативное значение этой характеристики [1];

t - коэффициент нормированного отклонения M_p при допустимом уровне надежности [1];

v_t - коэффициент вариации характеристики [1].

В качестве расчетных значений деформационных характеристик

(модулей упругости) конструктивных слоев допускается принимать их нормативные значения [1].

За расчетные значения прочностных (сдвиговых) и деформационных (модули упругости) характеристик грунта рабочего слоя допускается принимать их нормативные значения, отвечающие расчетному значению относительной влажности грунта, устанавливаемому по методике, изложенной в СНиП 2.05.02-85 [1].

2 Расчет конструкции дорожной одежды с применением слоя из пеностекольного щебня

2.1 Исходные данные для расчета

На основе предоставленных характеристик пеностекольного щебня производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» были определены предполагаемые области применения материала. С целью подтверждения гипотезы о возможности применения материала, были заданы следующие исходные данные:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, Центральная Россия;
- категория автомобильной дороги – IV;
- заданный срок службы дорожной одежды – $T_{cl} = 10$ лет;
- суммарное расчетное количество приложений нагрузки – 110000;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – суглинок легкий пылеватый с расчетной влажностью $0,7 W_m$, который относится к сильнопучинистым грунтам;
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III;
- глубина залегания грунтовых вод - 0,6 м;
- высота насыпи составляет 1,5 м;
- материалы для дренирующего и морозоустойчивого слоя – пеностекольный щебень производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга», песок.

Расчетные значения слоя из пеностекляного щебня приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры, используемые при расчете дорожной одежды

№	Контролируемые параметры	Расчетные значения для пеностекляного щебня производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга»
1	$E_{упр}$ - модуль упругости слоя для степени уплотнения 1,2, МПа	75
2	$h_{сл\ min}$ - минимально допустимая толщина слоя для различных фракций пеностекла	-
3	$h_{сл\ max}$ - максимально допустимая толщина слоя для различных фракций для разной степени уплотнения, м	0,4 (при уплотнении виброплитой) 0,6-0,9 (при уплотнении катком)
4	Размер частиц, возможность разбиения по фракциям 10-25, 25-40 и др., мм	10-60
5	Плотность в состояниях, кг/м ³ : - сухом - уплотненном - влажном - водонасыщенном	210±15%, 220-280 350 600
6	Насыпная плотность, кН/м ³	3,5
7	Коэффициент теплопроводности в состояниях, Вт/мК: - сухом - влажном	0,11 0,15
8	Величина капиллярного поднятия, мм	200
9	Водопоглощение, в % от весового объема в долгосрочный период	до 80%
10	Угол внутреннего трения, град	36-45

2.2 Определение суммарного расчетного количества приложений расчетной нагрузки за срок службы

Для определения требуемого модуля упругости проводится расчет по допускаемому упругому прогибу и условию сдвигоустойчивости по формуле (4):

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{ca}-1)}} T_{pдг} K_n, \quad (4)$$

где $K_c = 20$.

Величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции вычисляют по эмпирической формуле (5):

$$E_{min} = 98,65 [\lg(\Sigma N_p) - c], \quad (5)$$

где c – эмпирический параметр, принимаемый для расчетной нагрузки на ось (115 кН) равным 3,55.

Подставляя исходные значения, получаем:

$$E_{min} = 98,65 [\lg(110000) - 3,55] = 181,65 \text{ МПа}$$

$$E_{общ} = E_{mp} * K_{np}^{mp} = 284 * 1,3 = 236,145 = 237 \text{ МПа},$$

где K_{np}^{mp} – требуемый коэффициент прочности по условию упругого прогиба.

2.3 Определение основных параметров конструкции

Предварительно назначается конструкция, и определяются значения расчетных параметров:

-для расчета по допускаемому упругому прогибу (таблицы П.2.5, П.3.2 и П.3.8 ОДН 218.046-01 [1]);

-для расчета по условию сдвигоустойчивости (таблицы П.2.3, таблицы П.3.2 и П.3.8 ОДН 218.046-01 [1]);

-для расчета на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе (таблицы П.3.1 и П.3.8 ОДН 218.046-01 [1]);

-схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III;

-глубина залегания грунтовых вод – 0,6 м.

Таблица 3 – Расчетные значения применяемых материалов

№	Материал слоя	h слоя, см	Расчет по допустимо- му упругому прогибу, E, МПа	Расчет по условной сдвиго- устойчиво- сти, E, Па	Расчет на растяжение при изгибе			
					E, МПа	R _o , МПа	α	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Асфальтобетон горячей укладки мелкозернистый из щебеночной смеси типа Б на БНД марки 60/90	5	3200	1800	4500	9,80	5,2	5,5

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.	Асфальтобетон горячей укладки пористый крупнозернистый из щебеночной смеси на БНД марки 40/60	8	2800	1200	2800	8,0	5,9	4,3
3.	Щебеночно-гравийно-песчаная смесь, укрепленная цементом соответствующая марке 40	25	600	600	400	-	-	-
4.	Пеностекольный щебень производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга»	20	75	75	75	-	-	-
5.	Песок средней крупности	20	120	120	120	-	-	-
6.	Супесь пылеватая $W_p = 0,78W_T$	-	27	46	46	-	-	-

2.4 Определение расчётных характеристик грунта

Основными параметрами механических свойств грунта земляного полотна, которыми пользуются в расчётах дорожных одежд на прочность, служат модуль упругости грунта E_{zp} , угол внутреннего трения φ_{zp} и удельное сцепление c_{zp} .

Расчётные значения характеристик грунта устанавливаются в зависимости от вида грунта и его расчётной влажности, обусловленной природными условиями и особенностям его работы, по таблицам и графикам, составленным на основании обобщения многочисленных испытаний грунтов.

Дорожно-климатическая зона – II, тип местности по увлажнению – грунтовые воды (тип 3), грунт – супесь пылеватая.

Средняя влажность грунта $W^{cp}=0,78$ (в долях от W_m) – таблица П.2.1 ОДН 218.046-01 [1];

Расчётная влажность определяется по формуле (6):

$$W_p = W^{cp} \cdot (1 + \gamma \cdot t), \quad (6)$$

где γ – коэффициент вариации влажности ($\gamma=0,1$);

t – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от заданного уровня проектной надёжности конструкции дорожной одежды (при уровне проектной надёжности $K_n=0,85$ $t=1,06$).

$$W_p = 0,78 \cdot (1 + 0,1 \cdot 1,06) = 0,86.$$

По полученному значению, используя таблицы П.2.4. и П.2.5, определяются характеристики грунта: $E_{cp} = 27$ МПа; $\varphi = 15$; $C_{cp} = 0,004$ МПа.

2.5 Расчет по допускаемому упругому прогибу

Расчет по допускаемому упругому прогибу производится послойно, начиная с подстилающего грунта по номограмме (рисунок 1).

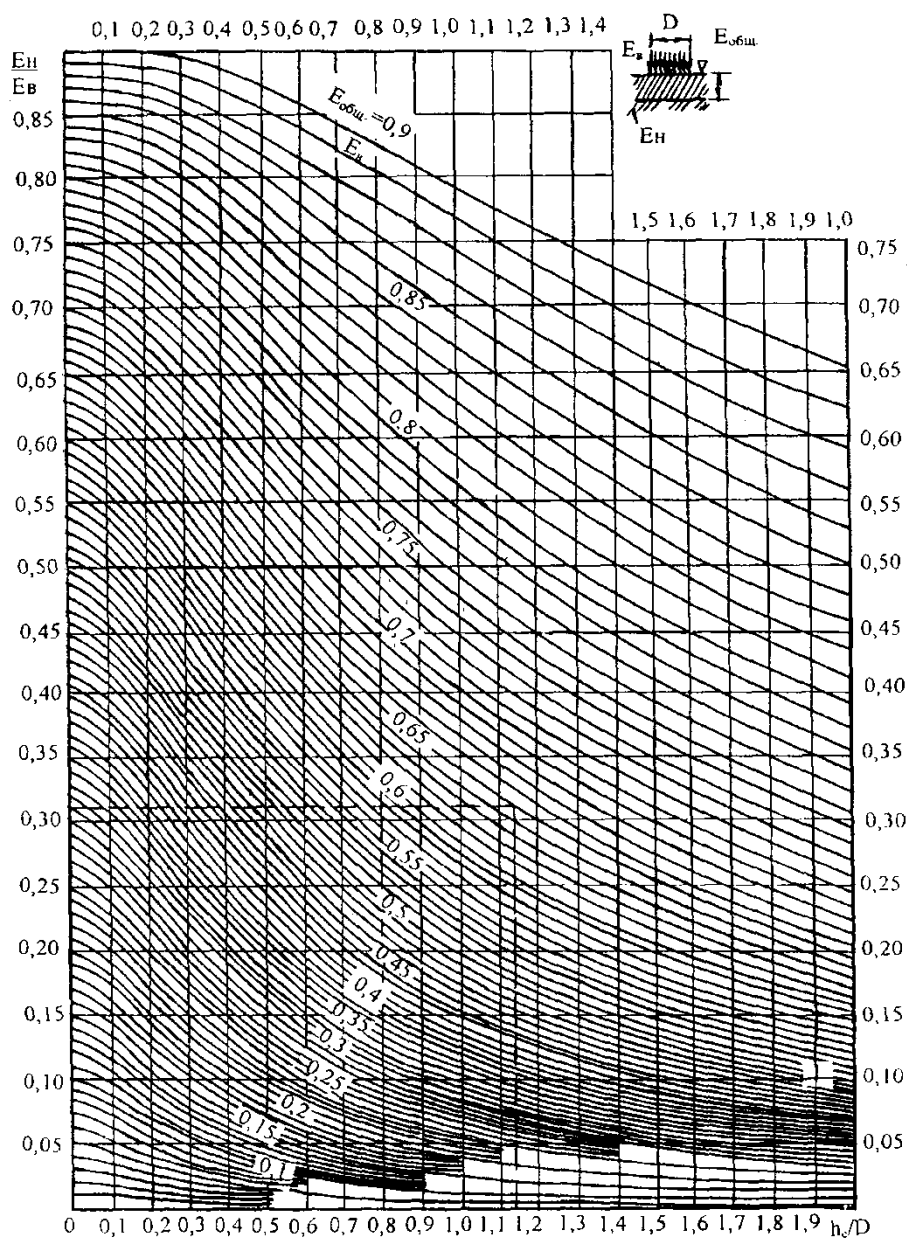


Рисунок 1 – Номограмма для определения общего модуля упругости двухслойной системы $E_{общ}$

Согласно приложению 1 таблицы П.1.1 ОДН 218.046-01 [1], $p = 0,6$ МПа, $D = 39$ см.

Для песчаного слоя $E_n = E_{zp} = 27$ Мпа.

Результаты расчета с устройством морозозащитного слоя из пеностекольного щебня производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» приведены в таблице 4, со слоем из среднезернистого песка по допустимому упругому прогибу – в таблице 5.

Таблица 4 – Расчет дорожной одежды с пеностекольным щебнем производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» по допустимому упругому прогибу

№	Материал слоя	h слоя , см	$E_{сл}$, Мпа	$h_{сл}/D$	$E_v/E_{сл}$	$E_n/E_{сл}$	E_v	E_n
1	Асфальтобетон горячей укладки плотный мелкозернистый из щебеночной смеси типа Б на БНД марки 60/90	5	3200	0,13	0,08	0,06	256	196
2	Асфальтобетон горячей укладки пористый крупнозернистый из щебеночной смеси на БНД марки 40/60	8	2800	0,21	0,07	0,04	196	120
3	Щебеночно-гравийно-песчаная смесь, укрепленная цементом соответствующая марке 40	25	600	0,64	0,20	0,07	120	40
4	Пеностекольный щебень производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга»	20	75	0,51	0,53	0,36	40	27
5	Супесь пылеватая		27					

2.6 Проверочный расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости в грунте с устройством основания из пеностекольного щебня

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляются по формуле (7):

$$T = \bar{\tau}_n \cdot p. \quad (7)$$

Для определения $\bar{\tau}_n$ предварительно назначенная дорожная

конструкция приводится к двухслойной расчетной модели.

Таблица 5 – Расчет дорожной одежды со слоем из среднезернистого песка по допустимому упругому прогибу

№	Материал слоя	h слоя , см	E _{сл} , МПа	h _{сл} /D	E _в /E _{сл}	E _н /E _{сл}	E _в	E _н
1	Асфальтобетон горячей укладки плотный мелкозернистый из щебеночной смеси типа Б на БНД марки 60/90	5	3200	0,13	0,08	0,07	266	210
2	Асфальтобетон горячей укладки пористый крупнозернистый из щебеночной смеси на БНД марки 40/60	8	2800	0,21	0,08	0,05	210	150
3	Щебеночно-гравийно-песчаная смесь, укрепленная цементом, соответствующая марке 40	25	600	0,64	0,25	0,10	150	58
4	Песок среднезернистый	20	75	0,51	0,48	0,23	58	27
5	Супесь пылеватая		27					

В качестве нижнего слоя модели принимается грунт (супесь пылеватая) со следующими характеристиками (при $W_p = 0,78W_T$ и $\Sigma N_p = 110000$ авт.): $E_{cp} = 27$ МПа; $\varphi = 5^\circ$; $C_{cp} = 0,005$ МПа.

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляется по формуле, где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаются по таблице 3.2 [1] при расчетной температуре +20 °С [1].

Подставляя значения из таблицы рассчитываем модуль упругости верхнего слоя:

$$E_e = \frac{1800 \cdot 5 + 1200 \cdot 8 + 600 \cdot 25 + 75 \cdot 20}{5 + 8 + 25 + 20} = 605 \text{ МПа.}$$

По отношениям $\frac{E_e}{E_n} = \frac{605}{27} = 22,41$ и $\frac{h_e}{D} = \frac{58}{39} = 1,48$ и при $\varphi = 15^\circ$ с

помощью номограммы (рисунок 2) определяется удельное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau}_n = 0,013$ МПа.

Таким образом, $T = 0,0012 \cdot 0,6 = 0,0072$ МПа.

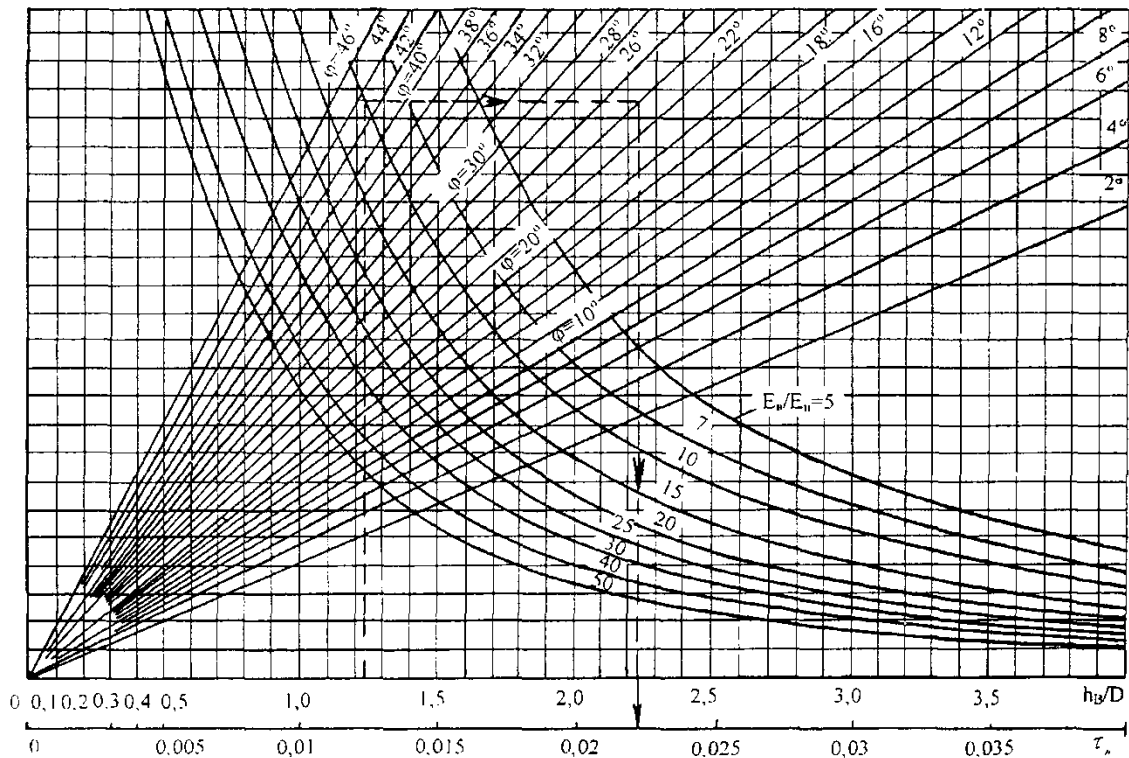


Рисунок 2 – Номограмма для определения активного напряжения сдвига от временной нагрузки в нижнем слое двухслойной системы (при $h_b/D = 0 \div 4,0$)

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пред}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (8):

$$T_{np} = k_{\delta} (c_n + 0,1 \gamma_{cp} z_{on} t g \varphi_{ст}), \quad (8)$$

где C_N - сцепление в грунте земляного полотна (или промежуточном песчаном слое), МПа, принимаемое с учетом повторности нагрузки (табл.П.2.4 и П.2.6 [1]);

$$C_n = 0,004 \text{ МПа};$$

K_{δ} – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе слоя с нижним слоем несущего основания ($K_{\delta} = 1,0$);

Z_{on} – глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигоустойчивость, от верха конструкции, см;

$$Z_{on} = 5 + 8 + 25 + 20 = 58 \text{ см};$$

γ_{cp} – средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя, кг/см³;

φ_{cm} – расчетная величина угла внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки.

Определено $\varphi_{ст} = 5^\circ$, $\gamma_{cp} = 0,002$ кг/см³

$T_{np} = 0,004 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 58 \cdot \text{tg } 15^\circ = 0,0073$ МПа,

где 0,1 – коэффициент для перевода в МПа.

Таким образом, $K_{np} = 0,0073/0,0072 = 1,013$ что больше $K_{np}^{mp} = 1,00$.

2.7 Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости в слое основания из пеностекляного щебня

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляются по формуле (9):

$$T = \bar{\tau}_n \cdot p, \quad (9)$$

где $\bar{\tau}_n$ – удельное активное сопротивление сдвига от единичной нагрузки, определяемое с помощью номограмм ОДН 218.046-01;

p – расчетное давление от колеса на покрытие.

Для определения $\bar{\tau}_n$ предварительно назначенная дорожная конструкция приводится к двухслойной расчетной модели:

$$E_g = \frac{1800 \cdot 5 + 1200 \cdot 8 + 600 \cdot 25}{5 + 8 + 25} = 884 \text{ МПа.}$$

Нижнему слою модели присваиваются следующие характеристики: при 40 МПа (из расчёта дорожной одежды) $\varphi = 40^\circ$ и $C = 0,004$ МПа [1].

По отношениям $\frac{E_g}{E_n} = \frac{884}{40} = 22,11$ и $\frac{h_g}{D} = \frac{38}{39} = 0,97$ при $\varphi = 40^\circ$ с помощью номограммы (рисунок 2) определяется удельное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau}_n = 0,0115$ МПа.

Таким образом, $T = 0,0115 \cdot 0,6 = 0,0069$ МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пред}$ в грунте рабочего слоя определяется по формуле (10):

$$T_{np} = k_{\delta} \cdot (c_n + 0,1 \gamma_{cp} z_{on} \operatorname{tg} \varphi_{CT}), \quad (10)$$

где C_N – сцепление в пеностекольном щебне производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга», МПа, принимаемое с учетом повторности нагрузки [1]; $C_n = 0,004$ МПа;

K_{δ} – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе слоя основания из пеностекла с нижним слоем несущего основания ($K_{\delta} = 1,0$);

Z_{on} – глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигоустойчивость, от верха конструкции, см;

γ_{cp} – средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя, кг/см³;

φ_{cm} – расчетная величина угла внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки;

$$Z_{on} = 38 \text{ см};$$

$$\varphi_{cm} = 40^{\circ} [1];$$

$$\gamma_{cp} = 0,002 \text{ кг/см}^3.$$

Подставляя значения в формулу (10) определяется T_{np} :

$$T_{np} = 0,004 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 38 \cdot \operatorname{tg} 40^{\circ} = 0,0103 \text{ МПа};$$

где 0,1 - коэффициент для перевода в МПа;

$$K_{np} = 0,0103 / 0,0069 = 1,5;$$

$$K_{np} > K_{np}^{TP} = 1,0.$$

Следовательно, условие по сдвигоустойчивости в слое основания из пеностекольного щебня выполнено.

2.8 Расчёт конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе

Для расчета конструкция приводится к двухслойной модели, где нижний слой модели – часть конструкции, расположенная ниже пакета

асфальтобетонных слоев. Модуль упругости нижнего слоя определяется по расчетам 120 МПа. К верхнему слою относят все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя (толщиной $h_г=13$ см) устанавливается путем нахождения средней толщины слоя:

$$E_{cp}^{cl} = (4500 \cdot 5 + 2800 \cdot 8) / 13 = 3454 \text{ МПа.}$$

По отношениям $E_{cp}^{cl} / E_г^{цеб} = 3454 / 120 = 28,78$ и $h_{cl} / D = 13 / 39 = 0,333$ и по номограмме (рисунок 2) определяется $\sigma_г = 3,7$.

Расчетное растягивающее напряжение вычисляется по формуле (11):

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \cdot P \cdot K_г, \quad (11)$$

где $\bar{\sigma}_r$ – растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчетных диаметрах площадки, передающей нагрузку, определяемое по номограмме (рисунок 3);

$K_г$ – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном, принимается равным 0,85 (при расчете на однобаллонное колесо $k_г = 1,00$);

p – расчетное давление, принимаемое по таблице П.1.1.[1]

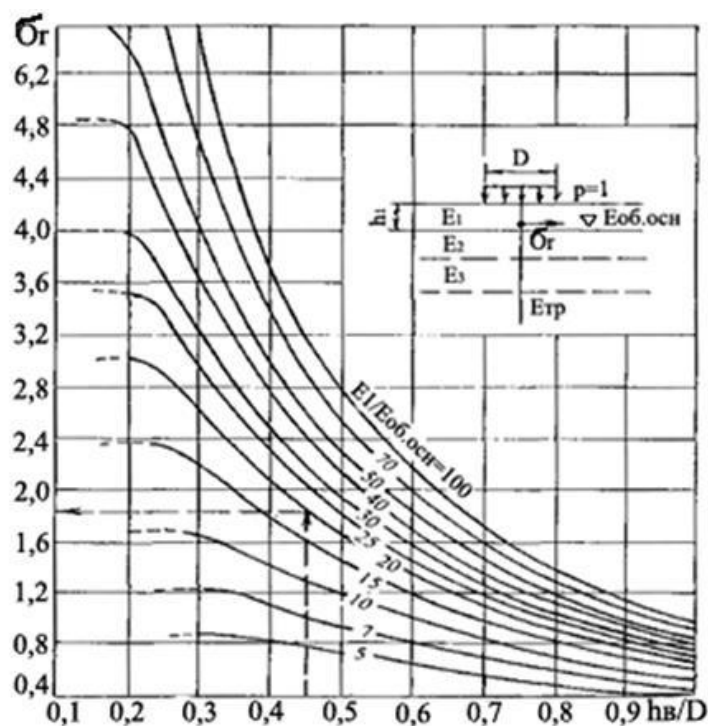


Рисунок 3 – Номограмма для определения растягивающего напряжения σ_r при изгибе в верхнем монолитном слое двухслойной системы

Подставляя значения в формулу (11) определяется σ_r :

$$\sigma_r = 3,7 * 0,6 * 0,85 = 0,612 \text{ МПа.}$$

Предельное растягивающее напряжение определяется по формуле(12):

$$R_N = R_o * k_1 * k_2 (1 - v_R * t), \quad (12)$$

где R_o – нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе при расчетной низкой весенней температуре при однократном приложении нагрузки. $R_o = 8,30$ МПа для нижнего слоя асфальтобетонного пакета [1];

k_1 – коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки, определяемый по формуле (13)

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}} \quad (13)$$

Значения $m=6,0$ $\alpha=5,0$ определены по таблице П.3.1 [1]; $\sum N_p=110000$ авт./сут.

Подставляя полученные значения в формулу (13), определяется k_1 :

$$k_1 = 5,0 / \sqrt[6]{\sum 110000} = 0,722;$$

k_2 – коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодно-климатических факторов $k_2 = 0,80$ [1];

v_R – коэффициент вариации прочности на растяжение $v_R = 0,10$ [1];

t – коэффициент нормативного отклонения $t = 1,71$ [1].

Подставляя полученные значения в формулу (14), определяется R_N :

$$R_N = 8,3 * 0,722 * 0,8 (1 - 0,1 * 1,71) = 3,974 \text{ МПа.}$$

$$R_N / \sigma_r = 3,974 / 0,612 = 6,49, \text{ что больше, чем } K_{np}^{mp} = 1,0 \text{ [1].}$$

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

2.9 Расчёт на морозоустойчивость

Расчётные параметры материалов для определения морозоустойчивости приводятся в таблице 6.

По карте определяется средняя глубина промерзания $Z_{np(ср)}$ для расчетной области и по формуле (14) определяется глубина промерзания дорожной конструкции Z_{np}

$$Z_{np} = Z_{np(ср)} \cdot 1,38 = 1,30 \cdot 1,38 = 1,80 \text{ м} \approx 2 \text{ м} \quad (14)$$

Таблица 6 – Параметры материалов

Материал	Толщина слоя h, м	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К
Мелкозернистый плотный асфальтобетон на БНД 60/90	0,05	1,40
Крупнозернистый пористый асфальтобетон на БНД 40/60	0,08	1,25
Щебеночно-гравийно-песчаная смесь, укрепленная цементом	0,25	2,02
Пеностекольный щебень производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга»	0,20	0,15
Песок средней крупности	0,20	1,91

По формуле (15) определяется величина пучения для данной конструкции

$$l_{пуч} = l_{пуч(ср)} \cdot K_{yзв} \cdot K_{пл} \cdot K_{зр} \cdot K_{назр} \cdot K_{вл} , \quad (15)$$

где $l_{пуч(ср)}$ – величина морозного пучения при осредненных условиях, определяемая по рис. 4.4[1] в зависимости от толщины дорожной одежды (включая дополнительные слои основания), группы грунта по степени пучинистости [1] и глубины промерзания ($z_{пр}$);

$K_{yзв}$ – коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод (H_y) [1]; при отсутствии влияния грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод следует принимать: для супеси тяжелой и пылевой и суглинка $K_{yзв} = 0,53$; для песка и супеси легкой и крупной $K_{yзв} = 0,43$;

$K_{пл}$ – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя [1];

$K_{гр}$ – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки [1];

$K_{нагр}$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое и зависящий от глубины промерзания [1];

$K_{вл}$ – коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта [1].

Подставляя значения в формулу (15), определяется $l_{пуч}$:

$$l_{пуч} = 8 \cdot 0,43 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,9 \cdot 1,20 = 4,1 \text{ см.}$$

Для глубины промерзания 2 м по номограмме рис. 4.3 по кривой определяется величина морозного пучения для усредненных условий $l_{пуч ср} = 8 \text{ см.}$

По таблицам и графикам находим коэффициенты $K_{увг}=0,43$; $K_{пл}=1,0$; $K_{зр}=1,1$; $K_{нагр}=0,9$; $K_{вл}=1,20$ [1].

Поскольку для данного типа дорожной одежды допустимая величина морозного пучения согласно таблице 4.3 [1] составляет 4 см, то следует назначить морозозащитный слой и произвести расчёт его толщины.

Предварительно ориентировочно определяется необходимая толщина морозозащитного слоя при допустимой величине морозного пучения $l_{доп} = 4 \text{ см.}$

Для этого определяется величина морозного пучения для усредненных условий, при которой пучение для данной конструкции не превышает 4 см:

$$l_{пуч ср} = l_{(доп)} / (K_{увг} \cdot K_{пл} \cdot K_{зр} \cdot K_{нагр} \cdot K_{вл}) = 4 : (0,43 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,9 \cdot 1,20) = 7,8 \text{ см.}$$

По номограмме рисунка 4.3 [1] определяется требуемая толщина дорожной одежды $h_{од} = 0,6 \text{ м}$, отсюда толщина морозозащитного слоя:

$$h_{мрз} = 0,6 - 0,58 = 0,02 \text{ м.}$$

Для уточнения требуемой толщины морозозащитного слоя необходимо произвести расчеты с учетом теплофизических характеристик отдельных слоев [1]. Задаем $h_{мрз} = 0,20 \text{ м.}$

Для использования в морозозащитном слое принимается

пеностекольный щебень производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» с коэффициентами теплопроводности $\lambda_2 = 0,11$ Вт/м·К и $\lambda_m = 0,15$ Вт/м·К соответственно в сухом и влажном состояниях, тогда λ_{cp} :

$$\lambda_{cp} = (0,11 + 0,15)/2 = 0,13 \text{ Вт/м·К.}$$

По формуле (16) определяется термическое сопротивление дорожной одежды без морозозащитного слоя:

$$R_{од(о)} = \sum h/\lambda \quad (16)$$

$$R_{од(о)} = 0,05/1,40 + 0,08/1,25 + 0,25/2,02 + 0,20/0,15 = 1,563 \text{ (м}^2\text{/Вт)}.$$

По карте изолиний рисунка 4.5 [1] определяется номер изолинии – IV.

где $C_{нуч}$ показатель пучения для сильнопучинистых грунтов для IV изолинии равный 1,50 [1].

При общей толщине дорожной одежды $h_{од} = 0,58$ м для сильнопучинистого грунта с помощью интерполяции определяется $C_p = 0,69$.

$$\text{Тогда } l_{дон}/(C_{нуч} \cdot C_p) = 4/(1,50 \cdot 0,69) = 3,9 \text{ см.}$$

По номограмме рисунка 4.6 [1] определяется методом интерполяции приведенное термическое сопротивление $R_{np} = 0,75$ (м²·К/Вт).

По формуле (17) определяем требуемое термическое сопротивление:

$$R_{од(тр)} = R_{np} \cdot K_{од} \cdot K_{увл} \cdot \delta, \quad (17)$$

где $K_{од}$ - коэффициент, учитывающий срок службы дорожной одежды, между капитальными ремонтами $K_{од} = 0,90$ [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-ой схеме увлажнения $K_{увл} = 1,0$ [1];

δ - понижающий коэффициент, принимаемый для II₁, II₃ и II₅ дорожно-климатических подзон равным 1,0; для II₂, II₄ и II₆, подзон равным 0,95; для III-ей дорожно-климатической зоны равным 0,90; для IV дорожно-климатической зоны равным 0,85

$$\delta = 1,0.$$

Подставляя значения в формулу (17), определяется $R_{од(тр)}$:

$$R_{од(тр)} = 0,75 \cdot 0,90 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,65 \text{ (м}^2 \cdot \text{К/Вт)}.$$

Требуемая толщина морозозащитного слоя определяется по формуле (18)

$$h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot \lambda_{мпз} \quad (18)$$

Подставляя значения в формулу (18), определяется $h_{мз}$:

$$h_{мз} = (0,65 - 1,563) \cdot 0,13 = - 0,12.$$

Дорожная одежда удовлетворяет требованиям морозоустойчивости.

Для оценки эффективности применения слоя из пеностекольного щебня производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» рассчитывается требуемая толщина слоя из среднезернистого песка для обеспечения аналогичных условий морозоустойчивости.

Термическое сопротивление дорожной одежды без морозозащитного слоя определено для принятой толщины песчаного слоя 0,4 м по формуле (16):

$$R_{од(о)} = 0,05/1,40 + 0,08/1,25 + 0,25/2,02 + 0,4/1,91 = 0,439 \text{ (м}^2 \cdot \text{К/Вт)}.$$

Требуемая толщина морозозащитного слоя определяется по формуле (18):

$$h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot \lambda_{мпз} = (0,65 - 0,439) \cdot 1,91 = 0,40.$$

Так как разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ не превышает 5 см, то принимается толщина слоя песка в 40 см.

Поперечный разрез дороги IV технической категории с конструктивными слоями из пеностекольного щебня производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» и песка показаны на рисунках 4 и 5.

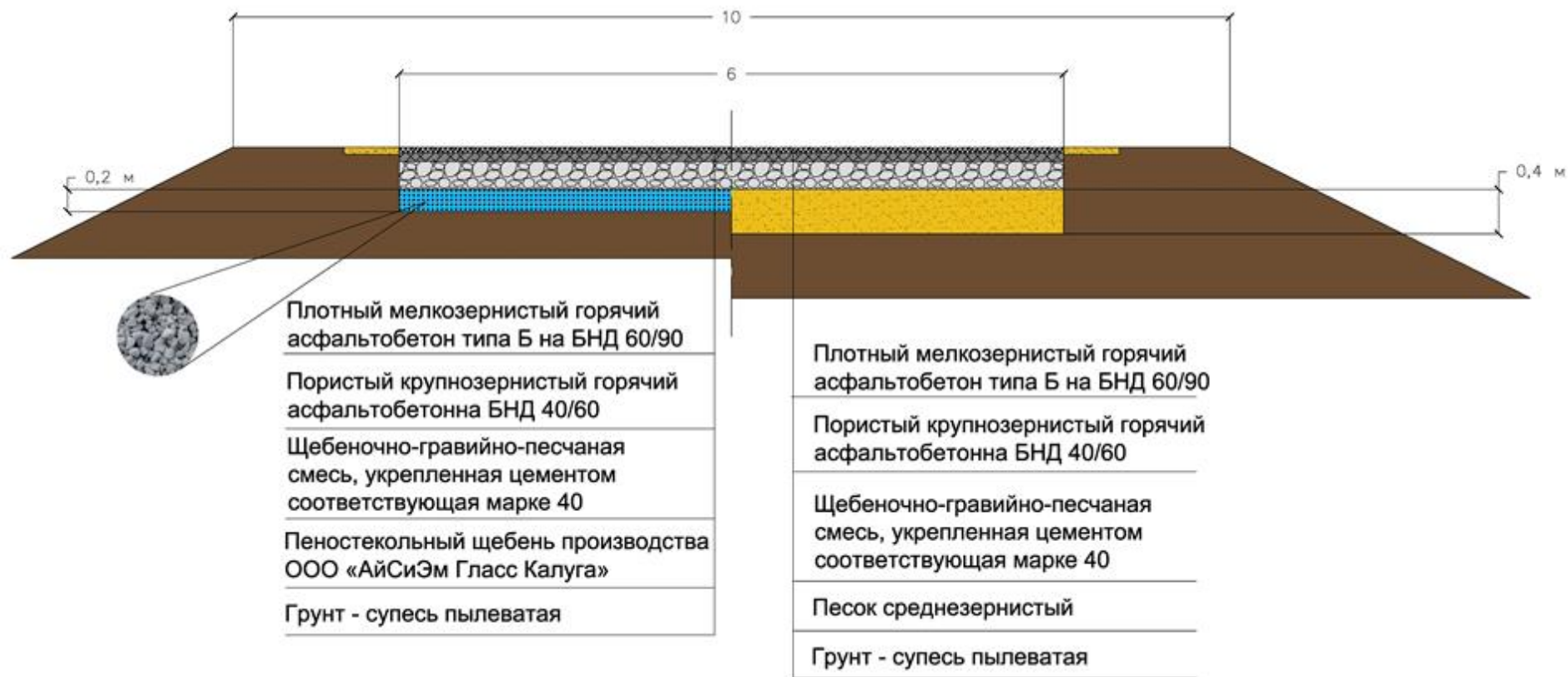


Рисунок 4 – Поперечный разрез дороги IV технической категории с конструктивными слоями из пеностекольного щебня производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» и среднезернистого песка

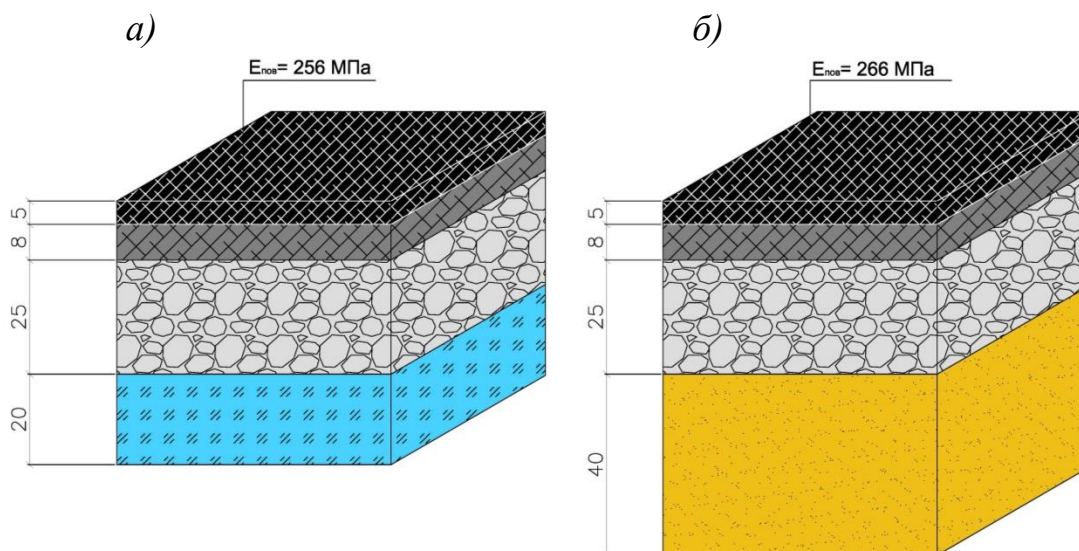


Рисунок 5 – Пример конструкции дороги IV технической категории с конструктивными слоями из пеностекольного щебня производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» (а) и среднезернистого песка (б)

3 Расчет дренающего слоя

Полная толщина дренающего слоя (в метрах), работающего по принципу осушения с периодом запаздывания отвода воды, достаточную для временного размещения в его порах поступающей в конструкцию в начальный период ее оттаивания воды, определяется по формулам (19, 20):

$$h_n = (q_p T_{зан}/n + 0,3h_{зан}) : (1 - \varphi_{зим}), \quad (19)$$

$$q_p = q \cdot K_n \cdot K_z \cdot K_{вог} \cdot K_p/1000. \quad (20)$$

Исходные данные для расчета приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Исходные данные для расчета толщины дренающего слоя

Обозначение	Описание	Расчетное значение по ОДН 218.046-01 [1]	Примечание
1	2	3	4
q_p	расчетное значение воды, поступающей за сутки	Формула 9	Определяется в зависимости от типа грунта, гидрологических условий и параметров, описанных ниже

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4
q	усредненное (табличное) значение притока воды в дренирующий слой при традиционной конструкции дорожной одежды, отнесенное к 1 м ² проезжей части, л/м ²	Табл. 5.3. $q=80$ л/м ²	
K_n	коэффициент «пик», учитывающий неустановившийся режим поступления воды из-за неравномерного оттаивания и выпадения атмосферных осадков	Табл. 5.4 $K_n=1,7$	
K_2	коэффициент гидрологического запаса, учитывающий снижение фильтрационной способности дренирующего слоя в процессе эксплуатации дороги	Табл 5.4 $K_2=1,3$	
$K_{вог}$	коэффициент, учитывающий накопление воды в местах изменения продольного уклона, определяемый при одинаковом направлении участков профиля у перелома	По номограмме рис 5.3 $K_{вог}=1,3$	
K_p	коэффициент, учитывающий снижение притока воды при принятии специальных мер по регулированию водно-теплового режима	Табл. 5.5 $K_p=0,1$	
$T_{зан}$	средняя продолжительность запаздывания начала работы водоотводящих устройств	Для II дорожно-климатической зоны – 4-6 сут, для III дорожно-климатической зоны – 3-4 сут	
n	пористость материала, в долях единицы	0,8	Данные взяты из открытых источников для аналогичного материала. Требуется уточнение

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4
$h_{зан}$	дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала	Для песков крупных 0,10...0,12 м, средней крупности 0,14...0,15 м и мелких 0,18...0,20 м. принятое значение 0,1	
$\varphi_{зим}$	коэффициент заполнения пор влагой в материале дренирующего слоя к началу оттаивания	Табл. 5.6 не определяет значения для пористости 0,8. Принимается значение 0,15	

Подставляя заданные значения в формулы 19 и 20, получаем:

$$q_p = 80 \cdot 1,7 \cdot 1,3 \cdot 1,3 \cdot 0,1/1000 = 0,02298 \text{ м}^3/\text{м}^2;$$

$$h_n = (0,02298 \cdot 5/0,8 + 0,3 \cdot 0,1) : (1 - 0,15) = 0,20 \text{ м.}$$

Требование по толщине дренажного слоя выполнено.

В том случае если слой работает по принципу поглощения, толщина слоя определяется по формуле (21):

$$h_n = (Q/(1000n) + 0,3h_{зан}) : (1 - \varphi_{зим}), \quad (21)$$

где Q – расчетное количество воды в л/м², накапливающейся в дренирующем слое за весь расчетный период определяемое по таблице. 5.3 [1]; $Q=130$;

$$h_n = (130/1000 \cdot 0,8) + 0,3 \cdot 0,1 : (1 - 0,15) = 0,23.$$

Требование по толщине дренажного слоя не выполнено, минимальная толщина слоя 23 см.

Данный материал может быть использован в качестве дренажного слоя, но для определения принципа работы необходимо провести натурные испытания. В случае если слой из пеностеклянного щебня производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» работает по принципу поглощения, то толщина слоя должна быть увеличена.

4 Анализ возможности применения пеностеклянного щебня в регионах РФ в слоях основания и морозозащитных слоях

Минимальная толщина отсыпки слоя из пеностекла составляет 20 см без уплотнения. На основе выполненного расчета определено, что конструкция с использованием пеностеклянного щебня производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» удовлетворяет требуемому модулю упругости, а также проходит проверки на сдвигоустойчивость в грунте и слое основания, на растяжение при изгибе и морозостойкость.

В соответствии с ОДН 218.046-01, максимально допустимая величина морозного пучения конструкций для капитального типа составляет 4 см, для переходного – 6 см.

Дорожно-климатическому районированию и проведенной проверке на морозоустойчивость установлена возможность применения пеностеклянного щебня в регионах с пучинистыми, сильнопучинистыми и чрезмернопучинистыми грунтами (таблица 8).

Таблица 8 – Целесообразность применения пеностеклянного щебня в регионах Российской Федерации

Регион РФ	Целесообразно применение в качестве морозозащитного слоя	Целесообразность применения требует дополнительного обоснования
1	2	3
Республика Адыгея (Адыгея)		+
Республика Алтай	+	
Республика Башкортостан	+	
Республика Бурятия	+	
Республика Дагестан		+
Республика Ингушетия		+
Кабардино-Балкарская республика		+
Республика Калмыкия	+	
Республика Карелия	+	
Карачаево-Черкесская республика		+
Республика Коми	+	
Республика Марий Эл	+	

Продолжение таблицы 8

1	2	3
Республика Мордовия	+	
Республика Саха (Якутия)	+	
Республика Северная Осетия - Алания		+
Республика Татарстан (Татарстан)	+	
Республика Тыва	+	
Удмуртская Республика	+	
Республика Хакасия		+
Чеченская Республика		+
Чувашская Республика	+	
Алтайский край	+	
Забайкальский край	+	
Камчатский край	+	
Красноярский край	+	
Краснодарский край		+
Пермский край	+	
Приморский край	+	
Ставропольский край		+
Хабаровский край	+	
Амурская область	+	
Архангельская область	+	
Астраханская область		+
Белгородская область		+
Брянская область		+
Владимирская область	+	
Волгоградская область		+
Вологодская область	+	
Воронежская область	+	
Ивановская область	+	
Иркутская область	+	
Калининградская область		+
Калужская область	+	
Кемеровская область	+	
Кировская область	+	
Костромская область	+	
Курганская область	+	
Курская область		+
Ленинградская область	+	
Липецкая область	+	
Магаданская область	+	
Московская область	+	
Мурманская область	+	
Нижегородская область	+	
Новгородская область	+	
Новосибирская область	+	
Омская область	+	
Оренбургская область	+	
Орловская область	+	
Пензенская область	+	

Продолжение таблицы 8

1	2	3
Псковская область	+	
Ростовская область		+
Рязанская область	+	
Самарская область	+	
Саратовская область	+	
Сахалинская область	+	
Свердловская область	+	
Смоленская область	+	
Тамбовская область		+
Тверская область	+	
Томская область	+	
Тульская область	+	
Тюменская область	+	
Ульяновская область	+	
Челябинская область	+	
Ярославская область	+	
Еврейская автономная область	+	
Ненецкий автономный округ	+	
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	+	
Чукотский автономный округ	+	
Ямало-Ненецкий автономный округ	+	

Субъекты Российской Федерации г. Москва и г. Санкт-Петербург не включены в список по причине высоких требований к прочности дорожных одежд в условиях интенсивного городского движения.

5 Анализ действующих документов системы технического регулирования

В соответствии с ФЗ № 257 «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации...» [4] к дорожной деятельности отнесены, в т.ч., работы по строительству, реконструкции, капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог. Статьей 3 ФЗ №257 [4] определено, что при ремонте автомобильной дороги выполняется комплекс работ по восстановлению транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильной дороги, при выполнении которых не

затрагиваются конструктивные и иные характеристики надежности и безопасности автомобильной дороги, а при содержании – работы по поддержанию ее надлежащего технического состояния.

Таким образом, применение пеностекольного щебня производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» возможно при строительстве, реконструкции или капитальном ремонте автомобильной дороги, т.е. при выполнении работ, при которых затрагиваются конструктивные характеристики автомобильной дороги.

В соответствии с ГОСТ 25137 [5] пеностекольный щебень может быть отнесен к пористым искусственным заполнителям – неорганическим зернистым сыпучим строительным материалам, изготавливаемым по специальной технологии. Таким образом, общие технические требования к изготавливаемому материалу содержатся в ГОСТ 9757, методы определения плотности материала, прочности, морозостойкости, потери массы при кипячении и прокаливании, стойкости против силикатного распада, содержания водорастворимых сернистых и сернокислых соединений, теплопроводности определены в ГОСТ 9758 [7].

Номенклатура показателей качества пеностекольного щебня нормируется ГОСТ 4.211 [8] для применения при разработке стандартов, технических условий и других нормативных документов, аттестации продукции, прогнозировании и планировании качества продукции, выборе оптимального варианта новой продукции, разработке систем управления качеством, представления отчетности и информации о качестве.

6 Оценка потенциального рынка сбыта пеностекольного щебня

В соответствии с определенными областями применения пеностекольного щебня производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» на основании данных Автоматизированного банка дорожных данных АБДД «ДОРОГА» получена оценка доли протяженности автомобильных дорог

общего пользования федерального значения (существующая сеть), на которых имеется потенциальная возможность применения пеностекольного щебня в конструкции дорожной одежды (таблица 9).

Таблица 9 – Относительные протяженности и площади автомобильных дорог федерального значения III-V технических категорий в I-III дорожно-климатических зонах

Дорожно-климатическая зона	Техническая категория автомобильных дорог федерального значения с усовершенствованным и низшим типом покрытия							
	III		IV		V		Грунтовые	
	Протяженность	Площадь	Протяженность	Площадь	Протяженность	Площадь	Протяженность	Площадь
I	12,8	11,7	6,4	4,1	1,2	0,7	0,3	0,2
II	15,3	14,4	1,4	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0
III	10,3	9,7	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0

Таким образом, потенциальная возможность применения пеностекольного щебня ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» имеется на 48,4 % протяженности (42,5 % по площади) существующих автомобильных дорог общего пользования федерального значения. На существующей сети применение возможно при проведении реконструкции и капитального ремонта дорожной одежды с заменой конструктивных слоев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеприведенного расчета было подтверждено, что конструктивный слой из пеностекольного щебня может быть использован при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог III-V технических категорий в I-III дорожно-климатических зонах. На существующей сети автомобильных дорог общего пользования федерального значения потенциальная возможность применения пеностекольного щебня ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» имеется на 48,4 % их протяженности (42,5 % площади).

Кроме применения в качестве конструктивного слоя при устройстве дорожной одежды пеностекольный щебень производства ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» также может быть использован:

- в качестве теплоизоляционного материала на откосах насыпей и выемок в сложных мерзлотно-грунтовых и гидрогеологических условиях во избежание нарушения теплового режима;

- как теплоизолирующая прослойка при устройстве водопропускных труб.

Эффект от использования в качестве теплоизолирующего слоя пеностекольного щебня заключается в следующем:

- повышение долговечности конструкции, достигаемой исключением периодически возникающих деформаций морозного пучения;

- понижение 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;

- снижение требуемой толщины дренирующего слоя за счёт исключения поступления воды снизу или оттаивания земляного полотна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 ОДН 218.046-01 Проектирование нежёстких дорожных одежд. – М.: Транспорт, 2001
- 2 СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги (с изменениями и дополнениями). – М.: Стройиздат, 2001
- 3 ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежёсткого типа/ Минтрансстрой. – М.: Транспорт, 1985
- 4 Федеральный закон от 8 ноября 2007 г. № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями)
- 5 ГОСТ 25137-82 (СТ СЭВ 5445-85) Материалы нерудные строительные, щебень и песок плотные из отходов промышленности, заполнители для бетона пористые. Классификация
- 6 ГОСТ 9757-90 (СТ СЭВ 5446-85) Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия
- 7 ГОСТ 9758-86 (СТ СЭВ 5066-85, СТ СЭВ 5446-85, СТ СЭВ 5975-87, СТ СЭВ 6317-88) Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний.
- 8 ГОСТ 4.211-80 Материалы строительные нерудные и заполнители для бетона пористые. Номенклатура показателей