

10 РАСЧЁТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ

Расчёт дорожной одежды на морозоустойчивость (зимнее пучение) проводят для неблагоприятных грунтово-гидрологических условий. К ним относятся второй и третий типы местности по увлажнению в I–III дорожно-климатических зонах при наличии пылеватых грунтов в верхней части земляного полотна.



Рисунок 10.1 – Разрыв дорожной одежды в результате пучения грунта земляного полотна

Пучением называют процесс, который происходит при замерзании грунта. Его характеристикой является *степень морозной пучинистости*

$$E = \frac{H - h}{h}, \quad (10.1)$$

где H – высота мёрзлого (вспучившегося) грунта, h – высота грунта до замерзания. Степень пучинистости показывает, на какую величину изменяется объём грунта при промерзании.

Пучинистыми называют грунты, у которых степень пучинистости больше 0,01, то есть это такой грунт, который при промерзании на глубину 1 м увеличивается в объёме более чем на 1 см. Классификация грунтов по степени пучинистости приведена в табл. 10.1 (СП 34.13330.2012, табл. В.6; ОДН 219.046-01, табл. П.2.6). В данной классификации выделяют пять групп грунтов.

Непучинистые грунты – грунты, которые не изменяют свой объём и свойства при промерзании-оттаивании, т.е. грунты у которых степень пучинистости $E < 0,01$. К ним относятся: крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем, галька, гравий, щебень, пески (гравелистые, крупные и средней крупности, крупно- и среднезернистые пески), песчаные смеси, не содержащие глинистых фракций, при любом уровне безнапорных подземных вод. Практически непучинистыми грунтами могут быть мелкие и пылеватые пески и глинистые грунты твёрдой консистенции при глубоком залегании уровня грунтовых вод.

К *слабопучинистым* грунтам относятся грунты с $0,01 < E < 0,035$. К ним относятся – мелкие и пылеватые пески или пески средней зернистости с небольшими глинистыми включениями при глубоком залегании уровня грунтовых вод.

Расчёт выполняют путём определения величины ожидаемого пучения грунта рабочего слоя земляного полотна и сравнения её с допускаемой для данной конструкции величиной.

Таблица 10.1 – Классификация грунтов по степени пучинистости при замерзании

Группы грунтов	Степень пучинистости	Относительное морозное пучение, %	Грунт
I	Непучинистый	1 и менее	Песок гравелистый с содержанием частиц мельче 0,05 до 2%
			Песок крупный с содержанием частиц мельче 0,05 до 2 %
			Песок средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 до 2 %
II	Слабопучинистый	Свыше 1 до 4	Песок гравелистый с содержанием частиц мельче 0,05 до 15%
			Песок крупный с содержанием частиц мельче 0,05 до 15%
			Песок средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 до 15 %
			Песок мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 до 15 %
			Супесь лёгкая крупная
III	Пучинистый	Свыше 4 до 7	Супесь лёгкая
			Суглинок лёгкий
			Суглинок тяжёлый
			Глины
IV	Сильнопучинистый	Свыше 7 до 10	Песок пылеватый
			Супесь пылеватая
			Суглинок тяжёлый пылеватый
V	Чрезмернопучинистый	Свыше 10	Супесь тяжёлая пылеватая
			Суглинок лёгкий пылеватый

Конструкцию считают морозоустойчивой, если соблюдено условие

$$l_{\text{пуч}} \leq l_{\text{доп}}, \quad (10.2)$$

где $l_{\text{пуч}}$ – расчётное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна; $l_{\text{доп}}$ – допускаемое для данной конструкции пучение грунта. Допустимое пучение $l_{\text{доп}}$ принимают по табл. 10.2.

Таблица 10.2 (ОДН 218.046-01, табл. 4.3) – Допустимые значения морозного пучения

Тип дорожных одежд	Вид покрытия	Допустимая величина морозного пучения, ($l_{\text{доп}}$), см
Капитальные	Асфальтобетонное	4
Облегченные	Асфальтобетонное	6
Переходные	Переходное	10

Примечание. В восточных районах II - III дорожно-климатических значения $l_{\text{доп}}$ следует увеличивать на 20-40 % (большие значения для облегченных и переходных дорожных одежд).

Величину возможного морозного пучения следует определять по формуле:

$$l_{\text{пуч}} = l_{\text{пуч ср}} \cdot K_{\text{УГВ}} \cdot K_{\text{пл}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\text{нагр}} \cdot K_{\text{вл}}, \quad (10.3)$$

где $l_{\text{пуч ср}}$ – величина морозного пучения при осредненных условиях; $K_{\text{УГВ}}$ – коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод (H_y); $K_{\text{пл}}$ – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя; $K_{\text{гр}}$ – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки; $K_{\text{нагр}}$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое; $K_{\text{вл}}$ – коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта.

Расчёт ведут в следующей последовательности.

1. Находят глубину промерзания $z_{\text{пр}}$ по формуле

$$z_{\text{пр}} = z_{\text{пр(ср)}} \cdot 1,38, \quad (10.4)$$

где $z_{\text{пр(ср)}}$ – средняя глубина промерзания для данного района, устанавливается при помощи карт изолиний (рис. 10.2).

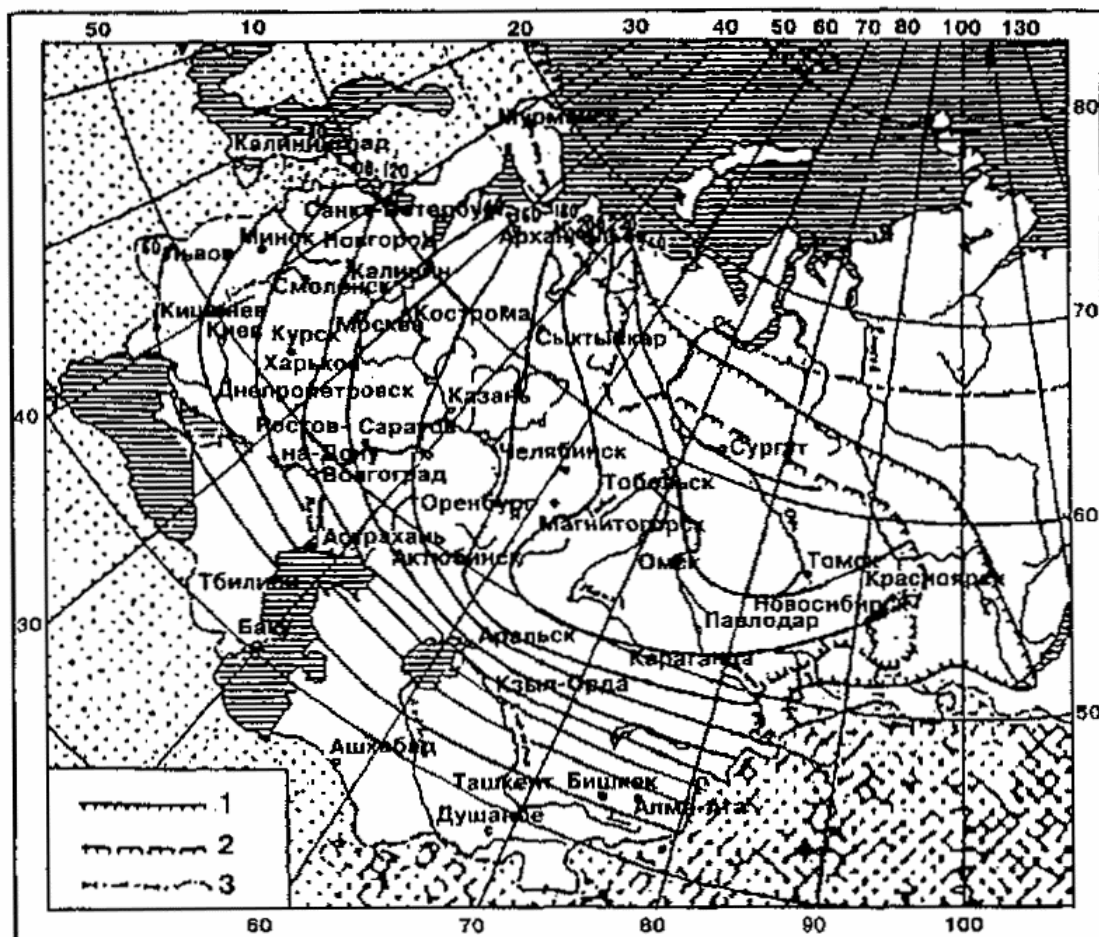


Рисунок 10.2. (ОДН 218.046-01, рис. 4.4) – Карта изолиний глубины промерзания $Z_{\text{пр(ср)}}$ грунтов на территории СНГ: 1 – граница сплошного распространения многолетнемёрзлых грунтов; 2 – то же, островного; 3 – границы стран СНГ

Глубина промерзания грунта в Красноярске приведена в табл. 10.3 [9].

Таблица 10.3 – Средняя глубина промерзания грунта в Красноярске

Грунт	Средняя глубина промерзания, м
Суглинки и глины	1,9
Супеси, пески мелкие и пылеватые	2,31
Пески гравелистые, крупные и средней крупности	2,47
Крупнообломочные грунты	2,8

2. Вычисляют $l_{\text{пуч ср}}$. При глубине промерзания дорожной конструкции $z_{\text{пр}}$ до 2 м $l_{\text{пуч ср}}$ устанавливают по графикам рис. 10.3. При $z_{\text{пр}}$ от 2,0 до 3,0 м $l_{\text{пуч ср}}$ вычисляют по формуле:

$$l_{\text{пуч ср}} = l_{\text{пуч ср } 2,0} \cdot [a + b (z_{\text{пр}} - c)], \quad (10.5)$$

где $l_{\text{пуч ср } 2,0}$ – величина морозного пучения при $z_{\text{пр}} = 2,0$ м;

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

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

3. Устанавливают $K_{\text{УГВ}}$ – коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод (H_y), пользуясь графиком на рис. 10.4. При отсутствии влияния грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод следует принимать: для супеси тяжелой и пылеватой и суглинка $K_{\text{УГВ}} = 0,53$; для песка и супеси легкой и крупной $K_{\text{УГВ}} = 0,43$.

4. Находят $K_{\text{пл}}$ – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя. В табл. 10.4 приведены минимальные значения коэффициентов уплотнения, допускаемые для рабочего слоя земляного полотна [1, табл. 7.3]. Значения $K_{\text{пл}}$ принимают по табл. 10.5.

Таблица 10.4 – Наименьшие коэффициенты уплотнения для рабочего слоя

Элементы земляного полотна	Глубина расположения слоя от поверхности покрытия, м	Наименьший коэффициент уплотнения грунта при типе дорожных одежд					
		капитальном			облегченном и переходном		
		в дорожно-климатических зонах					
		I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V
Рабочий слой	До 1,5	0,98-0,96	1,0-0,98	0,98-0,95	0,95-0,93	0,98-0,95	0,95
В рабочем слое выемки ниже глубины сезонного промерзания	До 1,2	-	0,95	-	-	0,95-0,92	-
	До 0,8	-	-	0,95-0,92	-	-	0,9

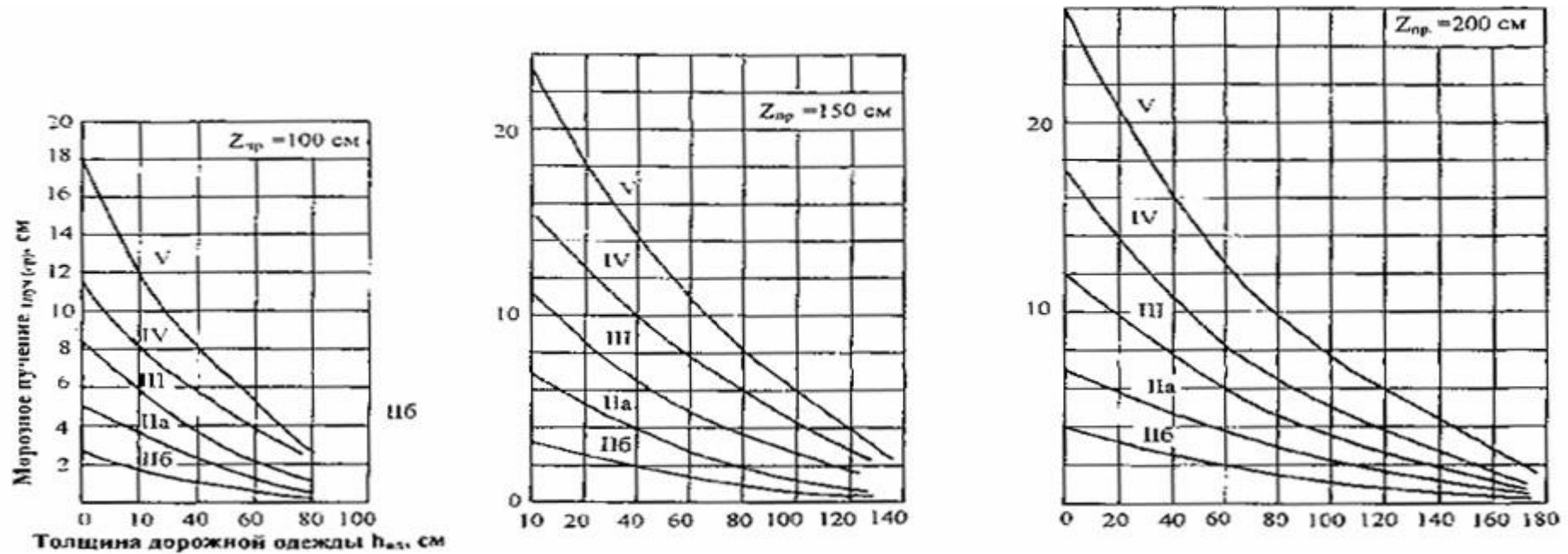


Рисунок 10.3 (ОДН 218.046-01, рис. 4.3). – Графики для определения осредненной величины морозного пучения $l_{пуч.ср.}$.

- Примечания:** 1. Кривую (II – V) выбирают по степени пучинистости в соответствии с табл. 10.1.
2. Кривую IIa выбирают при 2-й и 3-й схеме увлажнения рабочего слоя, кривую IIб – при 1-й схеме увлажнения.

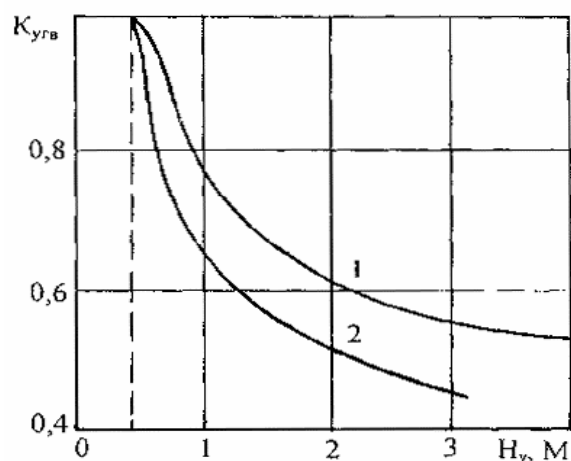


Рисунок 10.4. (ОДН 218.046-01, рис. 4.1) – Зависимость коэффициента $K_{угв}$ от расстояния между низом дорожной одежды и расчётным УГВ или УПВ: 1 – супесь тяжёлая и тяжёлая пылеватая, суглинок; 2 – песок, супесь лёгкая и лёгкая крупная

Таблица 10.5 (ОДН 218.046-01, табл. 4.4) – Значения коэффициента $K_{пл}$

Коэффициент уплотнения $K_{упл}$	$K_{пл}$	
	песок пылеватый, супесь лёгкая и пылеватая, суглинки, глины	пески кроме пылеватых, супесь лёгкая 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

5. Определяют $K_{гр}$ – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки по табл. 10.6.

Таблица 10.6 – Значения коэффициента $K_{гр}$ (ОДН 218.046-01, табл. 4.5)

Грунт	$K_{гр}$
Пески	1,0
Супеси	1,1
Суглинки	1,3
Глины	1,5

6. Находят $K_{нагр}$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое, по рис. 10.5.

7. Назначают $K_{вл}$ – коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта по табл. 10.7.

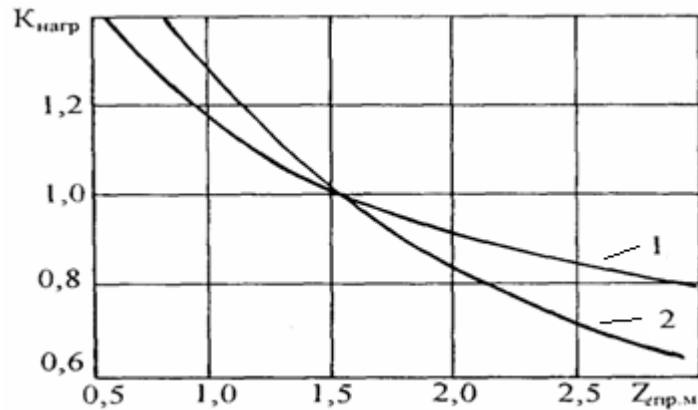


Рис. 10.5. (ОДН 218.046-01, рис. 4.2) - Зависимость коэффициента $K_{нагр}$ от глубины промерзания $z_{пр}$, отмеряемой от поверхности покрытия: 1 – супесь тяжелая и пылеватая, суглинок; 2 – песок, супесь легкая крупная

Таблица 10.7 – Значения коэффициента $K_{вл}$ (ОДН 218.046-01, табл. 4.6)

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

Если при расчётном сроке службы до 10 лет полученная величина возможного пучения будет превышать требуемую (табл. 10.2), а при сроке службы более 10 лет – 80 % от требуемой, то необходимо рассмотреть вариант устройства морозозащитного слоя. В этом случае предварительно определяют ориентировочно требуемую толщину морозоустойчивой конструкции дорожной одежды, используя графики рис. 10.4. Для этого, зная допустимую величину морозного пучения $l_{доп}$, рассчитывают среднюю величину морозного пучения $l_{пуч.ср}$ по формуле:

$$l_{пуч.ср} = l_{доп} / K_{УГВ} K_{пл} K_{Гр} K_{нагр} K_{вл}. \quad (10.6)$$

Затем по графику на рис. 10.4 в соответствии с группой грунта по степени пучинистости определяют $h_{до}$.

Пример 10.1. Рассчитать на морозоустойчивость дорожные одежды, конструкция которых приведена в табл. 6.1 (табл. 10.8). Дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в центральной части Красноярского края. Грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая, коэффициент уплотнения 1,01. В соответствии с табл. 10.1 он относится к IV группе, т.е. сильнопучинистым грунтам.

1. По карте изолиний глубины промерзания (рис. 10.2) или строительному справочнику [9] определяем среднюю глубину промерзания $z_{пр(ср)} = 2,31$ м. Тогда по формуле (10.4) $z_{пр} = 2,31 \cdot 1,38 = 3,19$ м.

2. По графикам на рис. 10.3 устанавливаем величину морозного пучения при $z_{\text{пр}} = 2,0$ м. Тогда $l_{\text{пуч ср } 2,0} = 4,5$ см. Так как глубина промерзания дорожной конструкции $z_{\text{пр}}$ более 2 м, то по формуле (10.5) при $z_{\text{пр}}$ более 2,5 м:

$$l_{\text{пуч ср}} = l_{\text{пуч ср } 2,0} \cdot [a + b (z_{\text{пр}} - c)] = 4,5 \cdot [1,08 + 0,08 \cdot (3,19 - 2,5)] = 5,1 \text{ см.}$$

3. Так как в примере расчёта грунтовые воды залегают глубоко и не влияют на влажность грунта земляного полотна, то для супеси пылеватой принимаем $K_{\text{УГВ}} = 0,53$.

Таблица 10.8 – Конструкция дорожных одежд капитального типа

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E, МПа	По усл. сдвигоуст., E, МПа	Расчет на растяжение при изгибе			
						E, МПа	R ₀ , МПа	α	m
1	Асфальтобетон плотный мелкозернистый, тип А марка I, БНД 90/130	7	0,0024	2400	1200	3600	9,5	5,4	5,0
2	Асфальтобетон пористый марка II, БНД 90/130	10	0,0023	1400	800	2200	7,8	6,3	4,0
3	Чёрный щебень в заклинку фр. 40-70, БНД 90/130	18	0,002	600	600	600	-	-	-
4	Щебёночно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%. При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 28^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{\text{ст}} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-
	Подстилающий грунт земляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8W_T$; При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 12^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{\text{ст}} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-

4. По заданному коэффициенту уплотнения грунта рабочего слоя 1,01 по табл. 10.5 назначаем $K_{пл} = 1$.

5. По табл. 10.6 коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки для супесей $K_{гр} = 1,1$.

6. По графику на рис. 10.5 для супеси пылевой (линия 2) при $z_{пр} = 3,19$ м $K_{нагр} = 0,8$.

7. Из табл. 10.7 для относительной влажности 0,8 $K_{вл} = 1,2$.

8. Находим по формуле (10.3) величину

$$l_{пуч} = l_{пуч\ ср} \cdot K_{УГВ} \cdot K_{пл} \cdot K_{гр} \cdot K_{нагр} \cdot K_{вл} = 5,1 \cdot 0,53 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,2 = 3,6 \text{ см.}$$

9. Допускаемое значения пучения в соответствии с табл. 10.2 для капитальных дорожных одежд $l_{доп} = 4$ см. Так как $3,6 < 4$, то условие (10.2) выполняется.

Таким образом, рассматриваемая конструкция дорожной одежды удовлетворяет условию морозоустойчивости.

С целью обеспечения морозоустойчивости дорожных одежд применяют различные специальные мероприятия.

1. Использование непучинистых или слабопучинистых грунтов (табл. 10.1) для сооружения верхней части земляного полотна, находящегося в зоне промерзания.

2. Осушение рабочего слоя земляного полотна (см. ОДН 218.046-01, гл. 5):

- устройство дренажа для увеличения расстояния от низа дорожной одежды до уровня подземных вод.

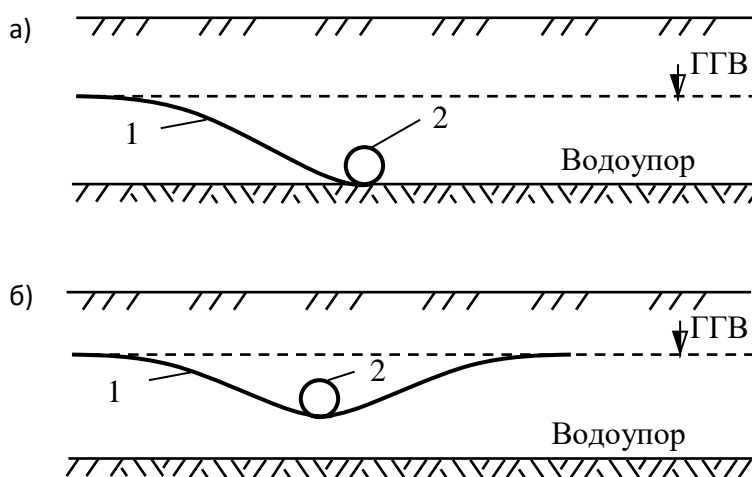


Рисунок 10.6 – Виды дренажа; а – совершенный дренаж; б – несовершенный дренаж; 1 – кривая депрессии; 2 – дренажная труба

- устройство гидроизолирующих или капилляропрерывающих прослоек для перехода от 2-ой или 3-й схемы увлажнения рабочего слоя земляного полотна к 1-й схеме

Прослойки, прерывающие все виды перемещений устраивают из синтетических нетканых материалов (геотекстиля), обработанных органическим вяжущим на пучинистых и сильно пучинистых грунтах земляного полотна (рис. 6.5).



Рисунок 10.7 – Конструкция влагоизолирующей прослойки

Прослойки, прерывающие только капиллярное поднятие, устраивают из крупнозернистых хорошо фильтрующих материалов (гравия, щебня или гравелистого песка). Толщина этих прослоек обычно не менее 15-20 см и должна превышать высоту капиллярного поднятия (рис. 6.6).

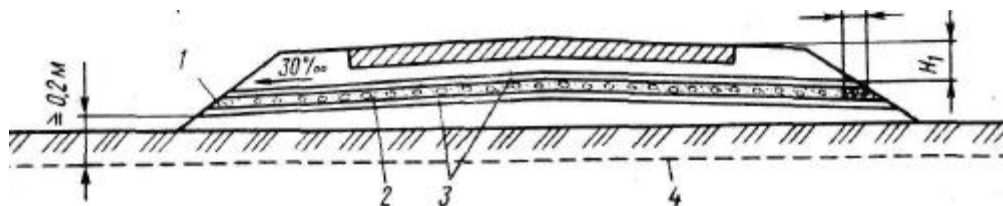


Рисунок 10.8 – Конструкция прослойки, прерывающей капиллярное поднятие; 1 – щебень; 2 – крупнозернистая прослойка; 3 – противозаиливающие прослойки; 4 – уровень грунтовых вод

Водонепроницаемые прослойки наиболее целесообразны в IV и V дорожно-климатических зонах, где грунтовые воды расположены глубоко и увлажнение земляного полотна происходит в результате парообразного перемещения. Капилляро-прерывающие прослойки устраивают преимущественно во II и III дорожно-климатических зонах.

3. Устройство морозозащитного слоя из непучинистых минеральных материалов, в т.ч. укрепленных малыми дозами минеральных или органических вяжущих;

4. Устройство теплоизолирующих слоев, снижающих глубину или полностью исключаящих промерзание грунта под дорожной одеждой (пенополистирольные плиты).

5. Устройство основания дорожной одежды из монолитных материалов (типа тощего бетона (содержит малое количество цемента) или других зернистых материалов, обработанных минеральным или органическим вяжущим).

Источники информации

1. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.

2. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.

3. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.

4. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М., ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 54 с.

5. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

6. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения / М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.

8. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.

9. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>