

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет

Л.И. САМОЙЛОВА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Учебное пособие

Владимир 2003

УДК 625.7/8.05(075.8)
С17

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент, главный инженер проекта
проектно-технического отдела Управления автомобильных дорог
администрации Владимирской области
А.А. Лебедев

Кандидат технических наук, профессор кафедры строительства
автомобильных дорог Московского государственного
автомобильно-дорожного института (технического университета)
М.С. Коганзон

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Самойлова Л.И.

С17 Проектирование нежестких дорожных одежд: Учеб. пособие / Владим.
гос. ун-т. Владимир, 2003. 58 с.
ISBN 5-89368-303-X

Приведены указания по конструированию и расчету нежестких дорожных одежд автомобильных дорог. Данные указания применимы для проектирования вновь сооружаемых дорожных одежд, новых участков реконструируемых дорог, разработки альбомов типовых конструкций, а также могут быть использованы при оценке прочности и при проектировании усиления дорожных одежд существующих дорог.

Предназначены для студентов очной, заочной форм обучения специальности 291000 – автомобильные дороги и аэродромы при выполнении курсовой работы и дипломного проекта по дисциплине “Изыскание и проектирование автомобильных дорог”. Учебное пособие может быть полезным также для работников проектных организаций, занимающихся проектированием нежестких дорожных одежд.

Табл. 22. Ил. 11. Библиогр.: 6 назв.

УДК 625.7/8.05(075.8)

ISBN 5-89368-303-X

© Владимирский государственный
университет, 2003

Введение

Пособие содержит указания по конструированию и расчету нежестких дорожных одежд автомобильных дорог общей сети в соответствии с ОДН 218.046-01 [1].

К нежестким дорожным одеждам относят одежды со слоями, устроенными из разного вида асфальтобетонов, из материалов и грунтов, укрепленных битумом, цементом, известью, комплексными и другими вяжущими, а также из слабосвязных зернистых материалов (щебня, шлака, гравия).

Классификация дорожных одежд приведена в табл. 1.

Различают следующие элементы дорожной одежды.

Покрытие - верхняя часть дорожной одежды, состоящая из одного или нескольких единообразных по материалу слоев, воспринимающая усилия от колес транспортных средств и подвергающаяся непосредственному воздействию атмосферных факторов.

По поверхности покрытия могут быть устроены *слои поверхностных обработок* различного назначения (слои для повышения шероховатости, защитные слои и т.п.).

Основание - часть конструкции дорожной одежды, расположенная под покрытием и обеспечивающая совместно с покрытием перераспределение напряжений в конструкции и снижение их величины в грунте рабочего слоя земляного полотна, а также морозоустойчивость и осушение конструкции.

Следует различать несущую часть основания и дополнительные слои основания. Несущая часть основания должна обеспечивать прочность дорожной одежды и быть морозоустойчивой.

Дополнительные слои основания - слои между несущим основанием и подстилающим грунтом, предусматриваемые при наличии неблагоприятных погодных-климатических и грунтово-гидрологических условий. Эти слои совместно с покрытием и основанием должны обеспечивать необходимые морозостойкость и дренирование конструкции и создавать условия для снижения толщины вышележащих слоев из дорогостоящих материалов. В соответствии с основной функцией, которую выполняет дополнительный слой, его называют *морозозащитным, теплоизолирующим, дренирующим*. К дополнительным слоям и прослойкам относят также гидро- и пароизолирующие, капиллярорерывающие, противозаиливающие.

Рабочий слой земляного полотна (подстилающий грунт) - верхняя часть полотна в пределах от низа дорожной одежды до 2/3 глубины промерзания, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия.

Т а б л и ц а 1

Классификация дорожных одежд и покрытий

Вид покрытия, тип дорожной одежды	Материал и способ укладки
Усовершенствованный капитальный	Горячая плотная асфальтобетонная смесь.
Усовершенствованный облегченный	Горячая и холодная плотные асфальтобетонные смеси. Пористая и высокопористая асфальтобетонная смесь с поверхностной обработкой. Черный щебень, приготовленный в установке и уложенный способом заклинки. Оганоминеральные смеси с жидкими или вязкими органическими вяжущими совместно с минеральными. Каменные материалы, обработанные вязким битумом методом пропитки, жидким битумом способом смешения на дороге.. Прочный щебень с двойной поверхностной обработкой.
Переходный	Щебень прочных пород, устроенный способом заклинки. Малопрочные каменные материалы и грунты, укрепленные вяжущими. Булыжный и колотый камень (мостовые).
Низший	Щебеночно-гравийно-песчаная смесь. Малопрочные каменные материалы и шлаки. Грунты, укрепленные или улучшенные местными материалами.

Состав курсовой работы и последовательность выполнения разделов соответствует оглавлению данного пособия. Курсовая работа включает расчетно-пояснительную записку на 10 - 15 страницах.

1. ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Алгоритм конструирования дорожной одежды включает:

- выбор вида покрытия;
- назначение числа конструктивных слоев с выбором материалов для устройства слоев, размещение слоев в конструкции и назначение их ориентировочной толщины;
- предварительную оценку необходимости назначения дополнительных морозозащитных мер с учетом дорожно-климатической зоны, типа грунта рабочего слоя земляного полотна и схемы увлажнения рабочего слоя на различных участках;
- предварительную оценку необходимости назначения мер по осушению конструкции, а также по повышению трещиностойкости конструкции;
- оценку целесообразности укрепления или улучшения верхней части рабочего слоя земляного полотна;
- предварительный отбор конкурентоспособных вариантов с учетом местных природных и проектных условий работы.

Необходимо предусматривать в конструкции одежды возможно меньшее число слоев и видов материалов (2 - 4 без учета дополнительных слоев).

При *выборе материалов* для устройства слоев дорожной одежды необходимо учитывать следующие положения.

В покрытии предусматривают применение асфальтобетонных смесей типа А и Б, высокоплотных смесей, а в основании - крупнозернистых асфальтобетонных смесей либо каменных материалов, укрепленных цементом. Общая толщина асфальтобетонных слоев повышенной сдвигоустойчивости не должна быть менее 12 см. На дорогах, предназначенных для движения автомобилей грузоподъемностью 8 и более тонн, при устройстве покрытий толщиной 3 - 5 см верхняя часть несущего основания должна быть предусмотрена из асфальтобетона.

В районах с климатом, близким к морскому, при количестве осадков 500 мм/год следует применять высокоплотный асфальтобетон либо плотный асфальтобетон, имеющий показатель пористости (водонасыщения), соответствующий нижнему допустимому пределу. В районах с сухим климатом (среднегодовое количество осадков менее 400 мм/год) назначают плотный асфальтобетон с показателем пористости (водонасыщения) по верхнему допускаемому пределу.

При перспективной интенсивности движения в физических единицах до 3000 авт/сут и при стадийном строительстве допускается устройство покрытия из пористого асфальтобетона с устройством поверхностной обработки или из высокопористого асфальтобетона с устройством двойной поверхностной обработки.

Несущий слой основания капитальных дорожных одежд следует устраивать из прочных материалов: пористого асфальтобетона, дегтебетона, черного щебня, щебеночных смесей, обработанных битумной эмульсией, фракционированного щебня, обработанного вязким битумом по способу пропитки, фракционированного щебня, уложенного по принципу расклинки мелким щебнем или гранулированным активным шлаком, фракционированного щебня, укрепленного по методу пропитки цементно-песчаной смесью.

Для устройства *нижней части несущего основания* в зависимости от расчетных условий движения могут применяться монолитные (укрепленные грунты и каменные материалы), а также зернистые материалы.

В случае использования в основании местных малопрочных каменных материалов предусматривают несущий слой основания из прочного щебня либо из укрепленных неорганическими вяжущими материалов с минимальной конструктивной толщиной. Расположение неукрепленных зернистых материалов между слоями из материалов или грунтов, обработанных вяжущими, как правило, не допускается.

В районах, недостаточно обеспеченных каменными материалами, допускается применять побочные продукты промышленности и грунты, улучшенные обработкой их вяжущими (цемент, битум, известь, активные золы уноса).

Толщину слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее и укладываемых на верхний слой основания из материалов, укрепленных цементом, для ограничения появления «отраженных» трещин на покрытии нужно принимать, как правило, не менее толщины слоев, укрепленных цементом. При этом минимальная толщина слоев с органическими вяжущими должна соответствовать: 18 см – капитальный, 12 см – облегченный тип дорожной одежды. В случае применения материалов, укрепленных комплексными вяжущими или медленно твердеющими гидравлическими вяжущими, минимальная толщина слоя может быть снижена на 20 %, а в IV - V дорожно-климатической зоне - на 30 %.

Предварительно толщину *покрытия* из асфальтобетона *облегченных дорожных одежд* следует назначать равной 4 - 6 см, а при использовании других материалов (черного щебня, щебня, обработанного вяжущими по способу пропитки, крупнообломочных материалов, песчаных или супесчаных грунтов, обработанных в установке битумной эмульсией совместно с цементом) равной 6 - 8 см.

Несущие основания для облегченных дорожных одежд с усовершенствованным покрытием предусматривают из монолитных или зернистых материалов. При этом на дорогах III и IV категорий целесообразно устраивать основание дорожной одежды из гравийного пористого асфальтобетона; гравийно-песчаных смесей, обработанных эмульсией, дегтями и другими органическими вяжущими; различных материалов и грунтов и побочных продуктов промышленности, обработанных неорганическими или комплексными вяжущими, щебеночных и щебеночно-гравийных смесей.

Для устройства оснований под усовершенствованные покрытия или покрытий на дорогах IV - V категорий можно использовать тощий цементобетон на основе слабого известнякового щебня, ракушечника, речных песчаников и др., а также гравийные материалы, укрепленные неорганическим вяжущим.

Шлаковый щебень из высокоактивных и активных шлаков можно использовать для устройства покрытий на дорогах IV - V категорий и для оснований (из улучшенных и неулучшенных шлаков) дорог II - IV категорий.

Дополнительные слои устраивают из стабильных зернистых материалов, таких как песок, песчано-гравийная смесь, гравий, щебень, шлаки, а также из грунтов, укрепленных вяжущими, или из других непучинистых материалов, а также из различного рода специальных индустриально выпускаемых материалов (геотекстиль, пенопласт, полимерная пленка и т.п.).

Если в *дополнительном слое* основания применяют однородный песок со степенью неоднородности (по ГОСТ 25100) менее 3, поверх него предусматривают укладку защитного (технологического) слоя из щебеночно-(гравийно-)песчаных смесей, отсевов дробления изверженных пород, гравелистых или крупных песков оптимального состава, а также из цементопеска. При степени неоднородности песка от 2 до 3 толщина защитного слоя принимается равной 10 см, при степени неоднородности менее 2 устанавливают защитный слой толщиной 15 - 20 см. В расчетах прочности дорожной одежды толщину защитного слоя включают в толщину дополнительного слоя основания.

В случае устройства *морозозащитного слоя* из зернистых материалов с коэффициентом фильтрации не менее 1 - 2 м/сут он может также выполнять функцию дренирующего слоя. В этом случае морозозащитный слой нужно устраивать на всю ширину земляного полотна с выходом на откосы насыпи.

Требуемый коэффициент фильтрации материала *дренирующего слоя* должен быть не менее 1 м/сут и 2 м/сут соответственно на участках дорог, проходящих в насыпи и в низкой насыпи или выемке.

Толщину отдельного слоя предварительно назначают в диапазоне от минимально-конструктивной толщины, регламентируемой действующими СНИП (табл. 2), до максимальной (например, принятых значений в типовых проектах) для данного региона или из технологических условий.

В целях обеспечения благоприятных условий работы прикромочных частей дорожной одежды основание должно быть на 0,6 м шире проезжей части и укрепительной полосы, а дополнительный нижний слой из песка или другого зернистого материала на 1 м шире основания (на 0,5 м с каждой стороны), или его устраивают на всю ширину земляного полотна.

Минимальная толщина слоя

Материал слоя дорожной одежды	Толщина, см	
Асфальтобетон крупнозернистый	6 - 7	
Асфальтобетон мелкозернистый	3 - 5	
Асфальтобетон песчаный	3 - 4	
Щебеночные материалы, обработанные органическими вяжущими	8	
Щебень, обработанный органическим вяжущим по способу пропитки	8	
Щебеночные и гравийные материалы:	на песчаном основании	15
	на прочном основании	8
Каменные материалы и грунты, обработанные вяжущими	10	

2. РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ

В качестве расчетной схемы нагружения конструкции колесом автомобиля принимается гибкий круговой штамп диаметром D , передающий равномерно распределенную нагрузку величиной p .

Значение расчетного удельного давления колеса покрытия p и расчетного диаметра D , приведенного к кругу отпечатка расчетного колеса на поверхности покрытия, назначают с учетом параметров расчетного типа автомобиля (табл.3).

В качестве расчетного типа используют наиболее тяжелый автомобиль, доля которых составляет не менее 10 % (с учетом перспективы изменения состава движения к концу межремонтного срока).

Приведение различных типов автомобилей к расчетному типу и приведение расчетного типа к расчетной схеме нагружения осуществляется в соответствии с указаниями.

Величину p принимают равной давлению воздуха в шинах. Диаметр расчетного отпечатка шины D определяют из зависимости:

$$D = \sqrt{\frac{40Q_{расч}}{\pi \cdot p}}, \quad (1)$$

где $Q_{расч}$ - расчетная величина нагрузки, передаваемой колесом на поверхность покрытия, кН; p - давление, МПа.

Расчетная нагрузка

Группа расчетной	Нормативная статическая нагрузка от колеса расчетного автомобиля, кН	Расчетные параметры нагрузки
------------------	--	------------------------------

нагрузки	на ось	на поверхность покрытия, $Q_{расч}$	p , МПа	D , см
A1	100	50	0,60	37 / 33
A2	110	55	0,60	39 / 34
A3	130	65	0,60	42 / 37

Примечание. В числителе - для движущегося колеса, в знаменателе - для неподвижного.

Значение суммарного коэффициента приведения определяют по формуле:

$$S_{m\text{ сум}} = \sum_1^n S_n, \quad (2)$$

где n - число осей у данного транспортного средства, приводимого к расчетной нагрузке; S_n - коэффициент приведения номинальной динамической нагрузки от колеса каждой из n осей транспортного средства к расчетной динамической нагрузке.

Коэффициенты приведения нагрузок S_n определяют по формуле:

$$S_n = \left(\frac{Q_{\text{дин}}}{Q_{\text{расч}}} \right)^m, \quad (3)$$

где $Q_{\text{дин}}$, $Q_{\text{расч}}$ - номинальная и расчетная динамическая нагрузка от колеса на покрытие; m - показатель степени, для капитальных дорожных одежд $m = 4,4$, для облегченных дорожных одежд $m = 3,0$; для переходных дорожных одежд $m = 2,0$.

Номинальная динамическая нагрузка $Q_{\text{дин}}$ определяется по паспортным данным на транспортное средство с учетом распределения статических нагрузок на каждую ось:

$$Q_{\text{дин}} = K_{\text{дин}} \cdot Q_n, \quad (4)$$

где $K_{\text{дин}}$ - динамический коэффициент, $K_{\text{дин}} = 1,3$; Q_n - номинальная статическая нагрузка на колесо данной оси.

Суммарный коэффициент приведения определяют в следующей последовательности:

- назначают расчетную нагрузку и определяют ее параметры: $Q_{\text{расч}}$, p , D ;
- для каждой марки автомобилей в составе перспективного движения по паспортным данным устанавливают величину номинальной статической нагрузки на колесо для всех осей транспортного средства Q_n ;

- умножив полученные значения Q_n и $Q_{расч}$ на динамический коэффициент, находят величины номинальной динамической нагрузки $Q_{дн}$ от колеса для каждой оси и расчетной динамической нагрузки $Q_{драсч}$;

- по формуле (3) вычисляют коэффициент приведения номинальной нагрузки от колеса каждой из осей S_n к расчетной;

- по формуле (2) вычисляют суммарный коэффициент приведения нагрузки от рассматриваемого типа автомобиля к расчетной нагрузке.

Допускается приближенно принимать суммарный коэффициент приведения $S_{тсум}$ по данным табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Приведение к расчетной нагрузке

Тип автомобиля	Коэффициент приведения $S_{тсум}$ к расчётной нагрузке		
	A_1	A_2	A_3
Легкий грузовой автомобиль грузоподъёмностью 1 - 2 т	0,005	0,003	0,0015
Средний грузовой автомобиль грузоподъёмностью 2 - 5 т	0,2	0,13	0,063
Тяжёлый грузовой автомобиль грузоподъёмностью 5 - 8 т	0,7	0,46	0,22
Тяжёлый грузовой автомобиль грузоподъёмностью более 8т	1,25	0,82	0,40
Автобус	0,7	0,46	0,22
Тягач с прицепом	1,5	0,99	0,47

В зависимости от вида расчета конструкции используют различные характеристики, отражающие интенсивность воздействия на нее подвижной нагрузки: N - перспективную (на конец срока службы) общую среднесуточную интенсивность движения; N_p - приведенное к расчетной нагрузке среднесуточное (на конец срока службы) число проездов всех колес, расположенных по одному борту расчетного автомобиля, в пределах одной полосы проезжей части (приведенная интенсивность воздействия нагрузки); ΣN_p - суммарное расчетное число приложения приведенной расчетной нагрузки к расчетной точке на поверхности конструкции за срок службы.

Перспективную общую среднесуточную интенсивность N устанавливают по данным анализа закономерностей изменения объема перевозок и интенсивности движения при проведении титульных экономических обследований.

Величина N_p приведенной интенсивности на последний год срока службы определяют по формуле:

$$N_p = f_{пол} \sum_{m=1}^n N_m S_{m\text{сум}}, \quad (5)$$

где $f_{пол}$ - коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним, определяемый по табл. 5; n - общее число различных марок транспортных средств в составе транспортного потока; N_m - число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств m -й марки; $S_{m\text{сум}}$ - суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства m -й марки к расчетной нагрузке $Q_{расч}$, определяемый в соответствии с табл. 3.

Суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции за срок службы ΣN_p определяют по формуле:

$$\Sigma N_p = f_{пол} \sum_{m=1}^n (N_{1m} K_c T_{р\text{дз}} 0,7) S_{m\text{сум}} k_n, \quad (6)$$

или по формуле:

$$\Sigma N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{р\text{дз}} k_n, \quad (7)$$

где n - число марок автомобилей; N_{1m} - суточная интенсивность движения автомобилей m -й марки в первый год службы (в обоих направлениях), авт/сут; k_n - коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого (табл. 6); $T_{р\text{дз}}$ - расчетное число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции (табл. 7, рис. 1); $T_{сл}$ - расчетный срок службы (табл. 8); q - показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам; K_c - коэффициент суммирования (табл. 9) определяют по формуле:

$$K_c = \frac{q^{T_{сл}} - 1}{q - 1} \quad (8)$$

Т а б л и ц а 5

Распределение движения по полосам

Число полос движения	Коэффициент $f_{пол}$ для полосы с номером от обочины		
	1	2	3
1	1,00	-	-
2	0,55	-	-

Число полос движения	Коэффициент $f_{пол}$ для полосы с номером от обочины		
	1	2	3
3	0,50	0,50	-
4	0,35	0,20	-
6	0,30	0,20	0,05

Т а б л и ц а 6

Отклонение суммарного движения от среднего

Тип дорожной одежды	Коэффициент k_n для дорог категории				
	I	II	III	IV	V
Капитальный	1,49	1,49	1,38	1,31	-
Облегченный	-	1,47	1,32	1,26	1,06
Переходный	-	-	1,19	1,16	1,04

Т а б л и ц а 7

Рекомендуемые значения $T_{рдг}$

Номер района (карта рис. 1)	Примерная географическая граница района	Рекомендуемое количество расчётных дней в году $T_{рдг}$
1	Зона распространения вечномёрзлых грунтов севернее 70-й параллели	70
2	Севернее линии Онега - Архангельск - Мезень - Нарьян-Мар – 60-й меридиан - до побережья Европейской части	145
3	Севернее линии Минск - Смоленск - Калуга - Рязань - Саранск – 48-й меридиан - до линии Онега - Архангельск - Мезень - Нарьян-Мар	125
4	Севернее линии Львов - Киев - Белгород - Воронеж - Саратов - Самара - Оренбург – 60-й меридиан до линии районов 2 и 3	135
5	Севернее линии Ростов-на-Дону - Элиста - Астрахань до линии Львов - Киев - Белгород - Воронеж - Саратов - Самара	145
6	Южнее линии Ростов-на-Дону - Элиста - Астрахань для Европейской части, южнее 46-й параллели - для остальных территорий	205
7	Восточная и Западная Сибирь, Дальний Восток (кроме Хабаровского и Приморского краев, Камчатской области), ограниченные с севера 70-й параллелью, с юга 46-й параллелью	130 - 150 (меньшие для центральной части)
8	Хабаровский и Приморский края, Камчатская область	140

Примечание. Величину $T_{рдг}$ на границе районов следует принимать по наибольшему из значений.

Таблица 8

Рекомендуемый расчетный срок службы

Категория дороги	Тип дорожной одежды	Срок службы T_{cl} в годах в дорожно-климатической зоне		
		I, II	III	IV, V
I	Капитальный	14 - 15 - 18	15 - 19	16 - 20
II	Капитальный	11 - 15	12 - 16	13 - 16
III	Капитальный	11 - 15	12 - 16	13 - 16
	Облегченный	10 - 13	11 - 14	12 - 15
IV	Капитальный	11 - 15	12 - 16	13 - 16
	Облегченный	8 - 10	9 - 11	10 - 12
	Переходный	3 - 8	3 - 9	3 - 9
V	Облегченный	8 - 10	9 - 11	10 - 12
	Переходный	3 - 8	3 - 9	3 - 9

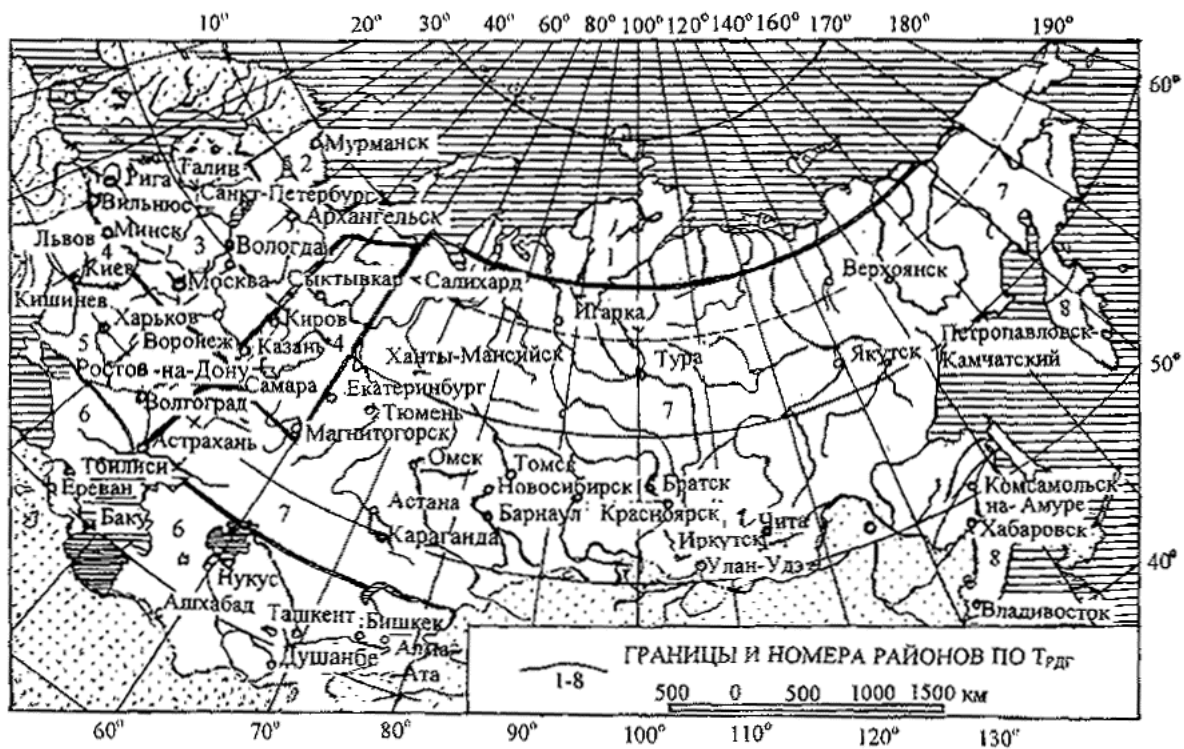
Рис. 1. Карта районирования по количеству расчетных дней в году, $T_{рдг}$

Таблица 9

Показатель изменения интенсивности движения по годам, q	Коэффициент K_c при сроке службы дорожной одежды T_{cl} , года			
	8	10	15	20
0,90	5,7	6,5	7,9	8,8
0,92	6,1	7,1	8,9	10,1
0,94	6,5	7,7	10,0	11,8
0,96	7,0	8,4	11,4	13,9

Показатель изменения интенсивности движения по годам, q	Коэффициент K_c при сроке службы дорожной одежды $T_{сл}$, года			
	8	10	15	20
0,98	7,5	9,1	13,1	16,6
1,00	8,0	10,0	15,0	20,0
1,02	8,6	10,9	17,2	24,4
1,04	9,2	12,0	20,0	29,8
1,06	9,9	13,2	23,2	36,0
1,08	10,6	14,5	27,2	45,8
1,10	11,4	15,9	31,7	67,3

3. РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ПРОЧНОСТЬ

3.1. Критерии прочности

Расчет прочности конструкции в целом ведут:

- по критерию упругого прогиба (по требуемому общему модулю упругости).

В результате этого расчета назначаются толщины конструктивных слоев и их модули упругости таким образом, чтобы общий модуль упругости дорожной одежды был не менее требуемого с учетом соответствующего коэффициента прочности.

Расчет на прочность в конструктивных слоях выполняют:

- по критерию на сдвиг в грунте и слабосвязных материалах (соответствия сдвигоустойчивости возникающим в слоях касательным напряжениям);
- по критерию на растяжение при изгибе в монолитных слоях (соответствия сопротивления возникающим в слоях растягивающим напряжениям).

Дорожные одежды переходного типа по критерию на растяжение при изгибе не рассчитывают.

При расчете определяют толщину конструктивных слоев дорожной одежды в вариантах, намеченных при конструировании, или выбирают

материал с соответствующими деформационными и прочностными характеристиками при заданной толщине слоев.

Во всех случаях для оценки напряженного состояния конструкции используют решения теории упругости.

3.2. Расчет конструкции по критерию упругого прогиба

Конструкция дорожной одежды в целом удовлетворяет требованиям прочности и надежности по величине упругого прогиба при условии:

$$E_{об} > E_{min} K_{ny}^{mp}, \quad (9)$$

или

$$l_{доп} > l K_{ny}^{mp},$$

где $E_{об}$, E_{min} - расчетный и минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа; K_{ny}^{mp} - требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности (табл. 10), $l_{доп}$, l - допустимый и расчетный общий прогиб конструкции под расчетной нагрузкой.

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

$$E_{min} = 98,65 [\lg(\Sigma N_p) - c], \text{ (МПа)}, \quad (10)$$

где ΣN_p - суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды, устанавливаемое в соответствии с формулой (6 или 7); c - эмпирический параметр, для расчетной нагрузки на ось 100 кН $c = 3,55$; 110 кН $c = 3,25$; 130 кН $c = 3,05$.

Примечания: 1. Формулой (10) следует пользоваться при $\Sigma N_p > 4 \cdot 10^4$.

2. Для дорог в V дорожно-климатической зоне требуемые модули, определенные по формуле (10), следует уменьшить на 15 %.

В качестве количественного показателя отказа дорожной одежды используют предельный коэффициент разрушения K_p^{np} (табл. 10) на последний год службы, представляющий собой отношение суммарной протяженности участков дороги, требующих ремонта из-за недостаточной прочности дорожной одежды, к общей протяженности дороги.

Независимо от результата, полученного по формуле (10), требуемый модуль упругости должен быть не менее указанного в табл. 11.

Т а б л и ц а 10

Тип дорожной одежды	Категория дороги	Предельный коэффициент разрушения K_p^{np}	Заданная надежность K_n	Требуемый коэффициент прочности по критерию	
				упругого прогиба K_{ny}^{mp}	сдвига K_{nc}^{mp} и растяжения K_{np}^{mp}
Капитальный	I	0,05	0,98	1,5	1,10
			0,95	1,30	1,00
	II	0,05	0,98	1,38	1,10
			0,95	1,20	1,00
	III	0,10	0,98	1,29	1,10
			0,95	1,17	1,00
			0,90	1,10	0,94
	IV	0,10	0,95	1,17	1,00
0,90			1,10	0,94	
0,85			1,06	0,90	
0,80			1,02	0,87	
Облегченный	III	0,15	0,98	1,29	1,10
			0,95	1,17	1,00
			0,90	1,10	0,94
	IV	0,15	0,95	1,17	1,00
			0,90	1,10	0,94
			0,85	1,06	0,90
			0,80	1,02	0,87

	V	0,15	0,95 0,90 0,80 0,70	1,13 1,06 0,98 0,90	1,00 0,94 0,87 0,80
Переходный	IV	0,40	0,95 0,90 0,85 0,80	1,17 1,10 1,06 1,02	1,00 0,94 0,90 0,87
	V	0,40	0,95 0,90 0,80 0,70	1,13 1,06 0,98 0,90	1,00 0,94 0,87 0,80

Т а б л и ц а 11

Категория дороги	Суммарное минимальное расчетное число приложений расчетной нагрузки на наиболее нагруженную полосу	Требуемый модуль упругости одежды, МПа		
		капитальной	облегченной	переходной
I	750000	230	-	-
II	500000	220	210	-
III	375000	200	200	-
IV	110000	-	150	100
V	40000	-	100	50

Расчет по допустимому упругому прогибу (по требуемому модулю упругости) ведут в следующей последовательности:

1. Определяют требуемый минимальный общий модуль упругости конструкции по формуле (10) или табл. 11.

2. Назначают модули упругости и предварительно толщины слоев конструкции (кроме толщины основания). Расчетные значения модулей упругости грунтов и материалов допускается принимать в соответствии с Приложением.

Значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, необходимо принимать во всех дорожно-климатических зонах при температуре 10 °С.

3. Выполняя расчет конструкции сверху вниз, определяют с помощью номограммы рис. 2 требуемые модули на поверхности каждого конструктивного слоя.

4. Выполняя расчет конструкции снизу вверх, определяют толщину основания (при заданном его модуле), обеспечивающую необходимый модуль на поверхности основания, полученный при расчете сверху.

Общий расчетный модуль упругости конструкции определяют с помощью номограммы рис. 2, построенной по решению теории упругости для модели многослойной среды.

Приведение многослойной конструкции к эквивалентной однослойной ведут послойно, начиная с рабочего слоя земляного полотна.

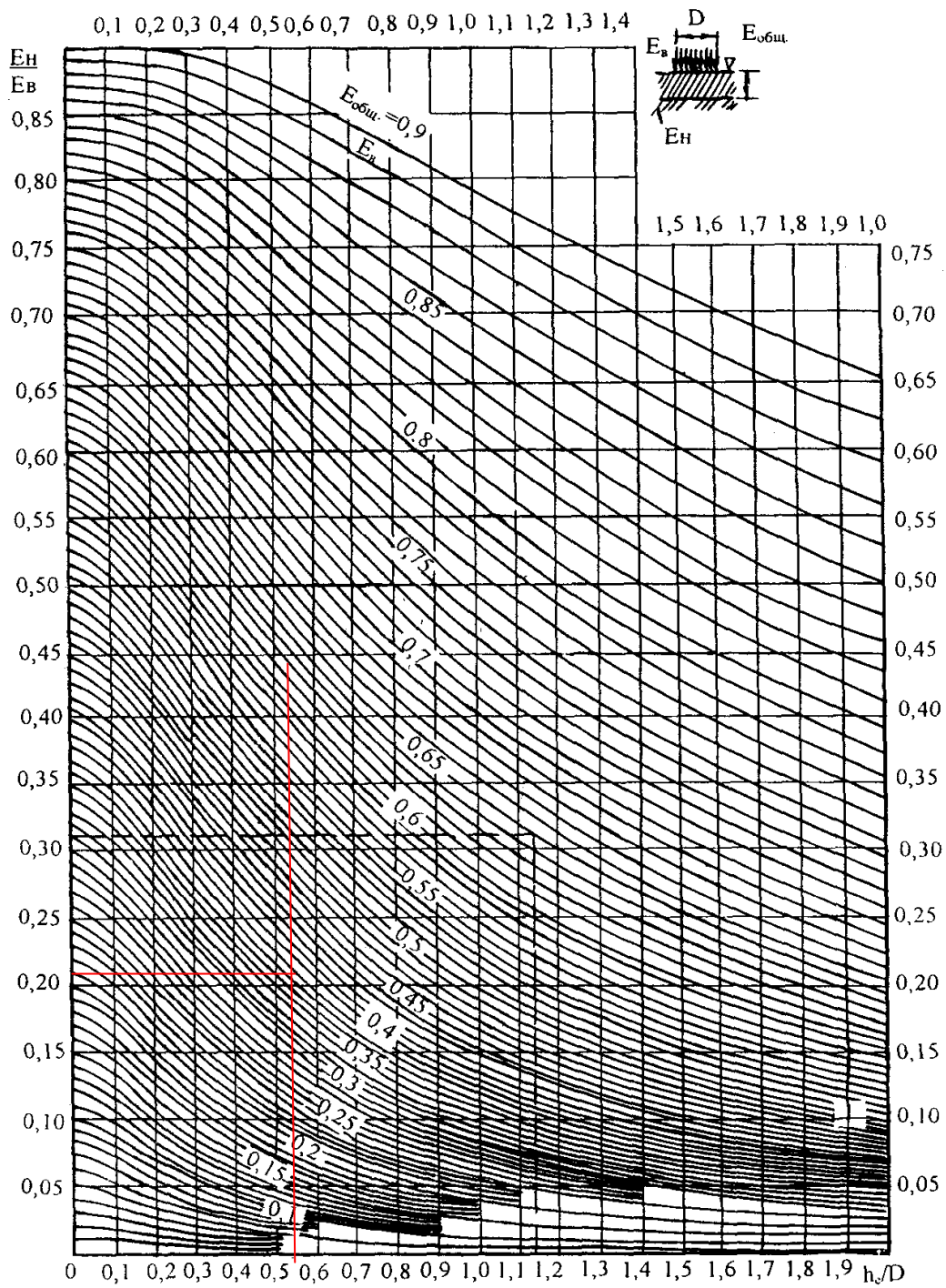


Рис. 2. Номограмма для определения общего модуля упругости двухслойной системы $E_{общ}$

3.3. Расчет слоев по критерию сдвигоустойчивости

Дорожную одежду проектируют из расчета, чтобы под действием кратковременных или длительных нагрузок *в подстилающем грунте или малосвязных (песчаных) слоях* за весь срок службы не накапливались недопустимые остаточные деформации формоизменения. Недопустимые деформации сдвига в конструкции не будут накапливаться, если в грунте земляного полотна и в малосвязных (песчаных) слоях обеспечено условие:

$$T \leq \frac{T_{np}}{K_{nc}^{mp}}, \quad (11)$$

где K_{nc}^{mp} - требуемое минимальное значение коэффициента прочности, определяемое с учетом заданного уровня надежности (см. табл. 10); T - расчетное активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, непогашенная внутренним трением) в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции от действующей временной нагрузки (формула 13); T_{np} - предельная величина активного напряжения сдвига (в той же точке), превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг (формула 14).

При практических расчетах многослойную дорожную конструкцию приводят к двухслойной расчетной модели.

При расчете дорожной конструкции *на прочность по сдвигоустойчивости грунта земляного полотна* в качестве нижнего принимают грунт (с его характеристиками), а в качестве верхнего - всю дорожную одежду. Толщину верхнего слоя $h_с$ принимают равной сумме толщин слоев одежды:

$$h_с = \left(\sum_{i=1}^n h_i \right).$$

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле:

$$E_с = \left(\sum_{i=1}^n E_i h_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n h_i \right), \quad (12)$$

где n - число слоев дорожной одежды; E_i - модуль упругости i -го слоя; h_i - толщина i -го слоя.

При расчете по условию сдвигоустойчивости в *песчаном слое* основания с помощью номограммы рис. 3 нижнему слою двухслойной модели условно присваивают расчетные характеристики песчаного слоя (c_n, φ_n), а модуль упругости принимают равным общему модулю на поверхности песчаного слоя, определяемому по рис. 2; толщину верхнего слоя модели принимают равной общей толщине слоев, лежащих над песчаным, а модуль упругости E_e вычисляют как средневзвешенное значение для этих слоев по формуле (12).

При расчете дорожных одежд по условию сдвигоустойчивости значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, принимают соответствующими температурам, указанным в табл. 12.

Т а б л и ц а 12

Дорожно-климатическая зона	I - II	III	IV	V
Расчетная температура, °С	20	30	40	50

Действующие в грунте или в песчаном слое расчетные активные напряжения сдвига T вычисляют по формуле:

$$T = \bar{\tau}_n p, \quad (13)$$

где $\bar{\tau}_n$ - удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки, определяемое с помощью номограмм (рис. 3 и рис. 4); p - расчетное давление от колеса на покрытие.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя (или в песчаном материале промежуточного слоя) определяют по формуле:

$$T_{пр} = k_{\delta} (c_N + 0,1 \gamma_{cp} z_{он} \operatorname{tg} \varphi_{ст}), \quad (14)$$

где c_N - сцепление в грунте земляного полотна (или в промежуточном песчаном слое), принимаемое с учетом повторности нагрузки, МПа (Приложение); $z_{он}$ - глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигоустойчивость, от верха конструкции, см; γ_{cp} - средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя, кг/см³; $\varphi_{ст}$ - расчетная величина угла внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки, град.; k_{δ} - коэффициент, учитывающий особенности

работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания.

Во всех случаях в качестве расчетных значений угла внутреннего трения грунта и малосвязных слоев используют значения, отвечающие расчетному суммарному числу воздействия нагрузки за межремонтный срок ΣN_p .

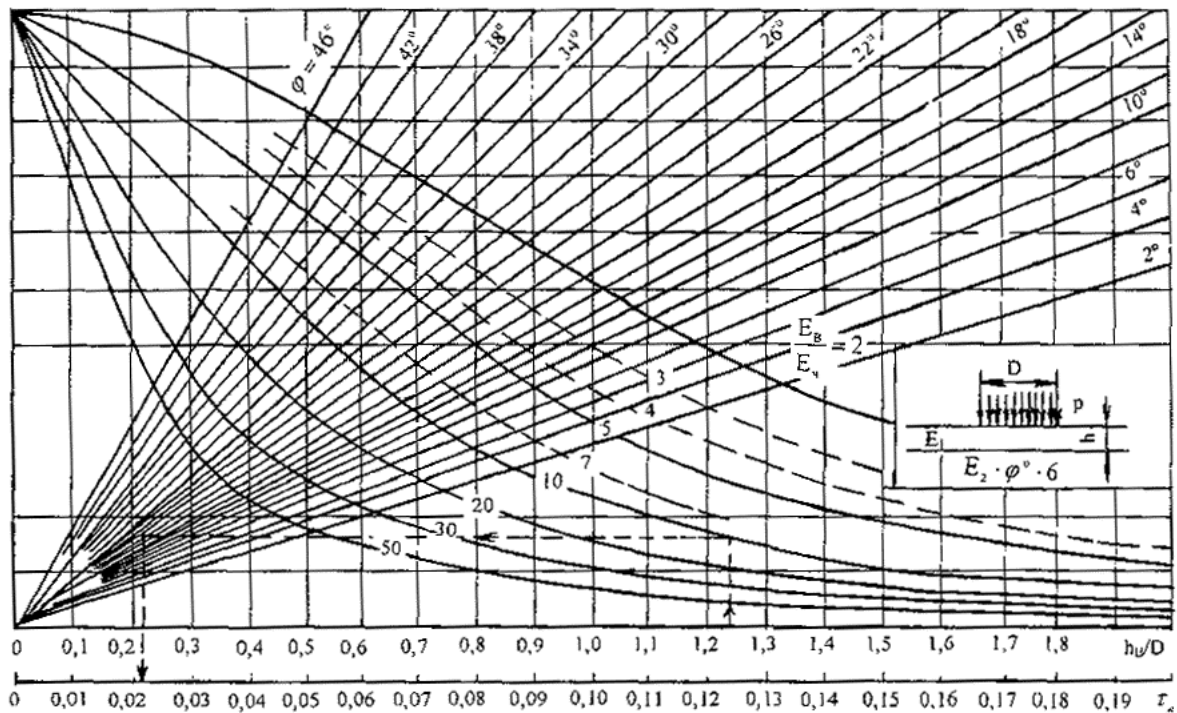


Рис. 3. Номограмма для определения активного напряжения сдвига от временной нагрузки в нижнем слое двухслойной системы (при $h_B/D = 0 \div 2,0$)

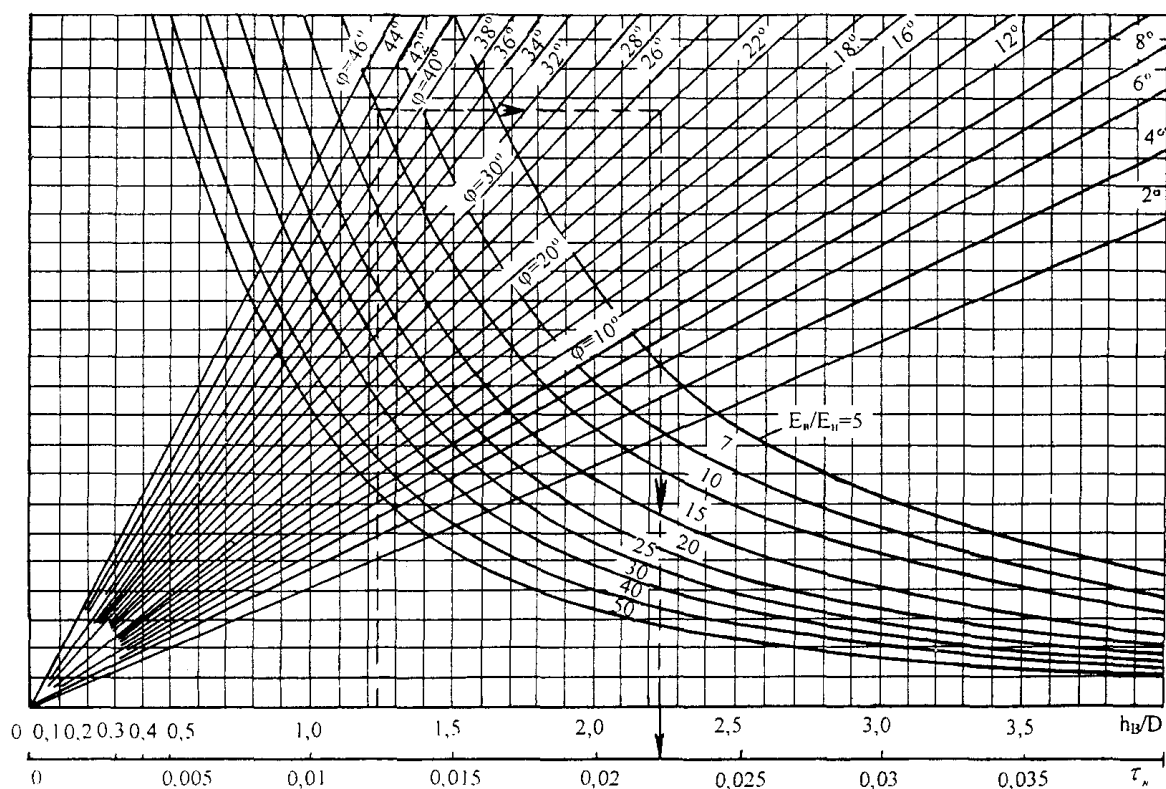


Рис. 4. Номограмма для определения активного напряжения сдвига от временной нагрузки в нижнем слое двухслойной системы (при $h_b/D = 0 \div 4,0$)

При устройстве нижнего слоя несущего основания из укрепленных материалов, или при укладке на границе «несущее основание - песчаный слой (или песчаный грунт)» разделяющей геотекстильной прослойки, следует принимать: $k_\delta = 4,5$ - при использовании в песчаном слое крупного песка; $k_\delta = 4,0$ - песка средней крупности; $k_\delta = 3,0$ - мелкого песка. При устройстве нижнего слоя несущего основания из неукрепленных материалов и без укладки разделительной прослойки следует принимать $k_\delta = 2,0$. При проверке сдвигоустойчивости в подстилающем дорожную одежду глинистом грунте земляного полотна следует принимать $k_\delta = 1,0$.

Расчет дорожной одежды по сопротивлению сдвигу в грунте земляного полотна, а также в песчаных материалах промежуточных слоев дорожных одежд ведут в следующей последовательности:

а). По Приложению назначают расчетные модули упругости для слоев из асфальтобетона, соответствующие максимально возможным

температурам в ранний весенний (расчетный) период (в соответствии с табл. 12).

б). Назначают по Приложению (с учетом расчетной влажности и общего числа воздействия нагрузки) расчетные прочностные характеристики φ и c грунта земляного полотна и песка промежуточного слоя одежды (если таковой имеется). Остальные расчетные характеристики грунта и материалов остаются теми же, что и в расчете по упругому прогибу.

в). По рис. 3 или рис. 4 определяют активные напряжения сдвига $\bar{\tau}_n$ от единичной временной нагрузки. Для этого приводят многослойную конструкцию к двухслойной модели.

г). По формуле (13) вычисляют расчетное напряжение сдвига в грунте земляного полотна или в песчаном слое одежды.

д). По формуле (14) вычисляют предельное напряжение сдвига.

е). По формуле (11) проверяют выполнение условия прочности (с учетом требуемой надежности).

ж). При необходимости, изменяя толщины конструктивных слоев, подбирают конструкцию, удовлетворяющую условию по формуле (11).

3.4. Расчет слоев по критерию на растяжение при изгибе

В монолитных слоях дорожной одежды (из асфальтобетона, дегтебетона, материалов и грунтов, укрепленных комплексными и неорганическими вяжущими и др.) напряжения под действием повторных кратковременных нагрузок, возникающие при прогибе одежды, не должны в течение заданного срока службы приводить к образованию трещин от усталостного разрушения. Для этого должно быть обеспечено условие:

$$\sigma_r < \frac{R_N}{K_{np}^{mp}}, \quad (15)$$

где K_{np}^{mp} - требуемый коэффициент прочности с учетом заданного уровня надежности (табл. 10); R_N - прочность материала слоя на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений; σ_r - наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, устанавливаемое расчетом.

Наибольшее растягивающее напряжение σ_r при изгибе в монолитном слое определяют с помощью номограммы (рис. 5), приводя реальную конструкцию к двухслойной модели.

К верхнему слою модели относят все асфальтобетонные слои, включая рассчитываемый. Толщину верхнего слоя модели h_g принимают равной сумме толщин, входящих в пакет асфальтобетонных слоев (Σh_i).

Значение модуля упругости верхнего слоя E_v модели устанавливают как средневзвешенное для всего пакета асфальтобетонных слоев по формуле (12).

Нижним (полубесконечным) слоем модели служит часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, включая грунт рабочего слоя земляного полотна.

Модуль упругости нижнего слоя E_n модели определяют путем приведения слоистой системы к эквивалентной по жесткости с помощью номограммы рис. 2.

При использовании номограммы рис. 5 расчетное растягивающее напряжение определяют по формуле:

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \cdot p \cdot \kappa_g, \quad (16)$$

где $\bar{\sigma}_r$ - растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчетных диаметрах площадки, передающей нагрузку, определяемое по номограмме рис. 5; κ_g - коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном, $\kappa_g = 0,85$, при расчете на однобаллонное колесо $\kappa_g = 1,00$; p - расчетное давление, принимаемое по табл. 3.

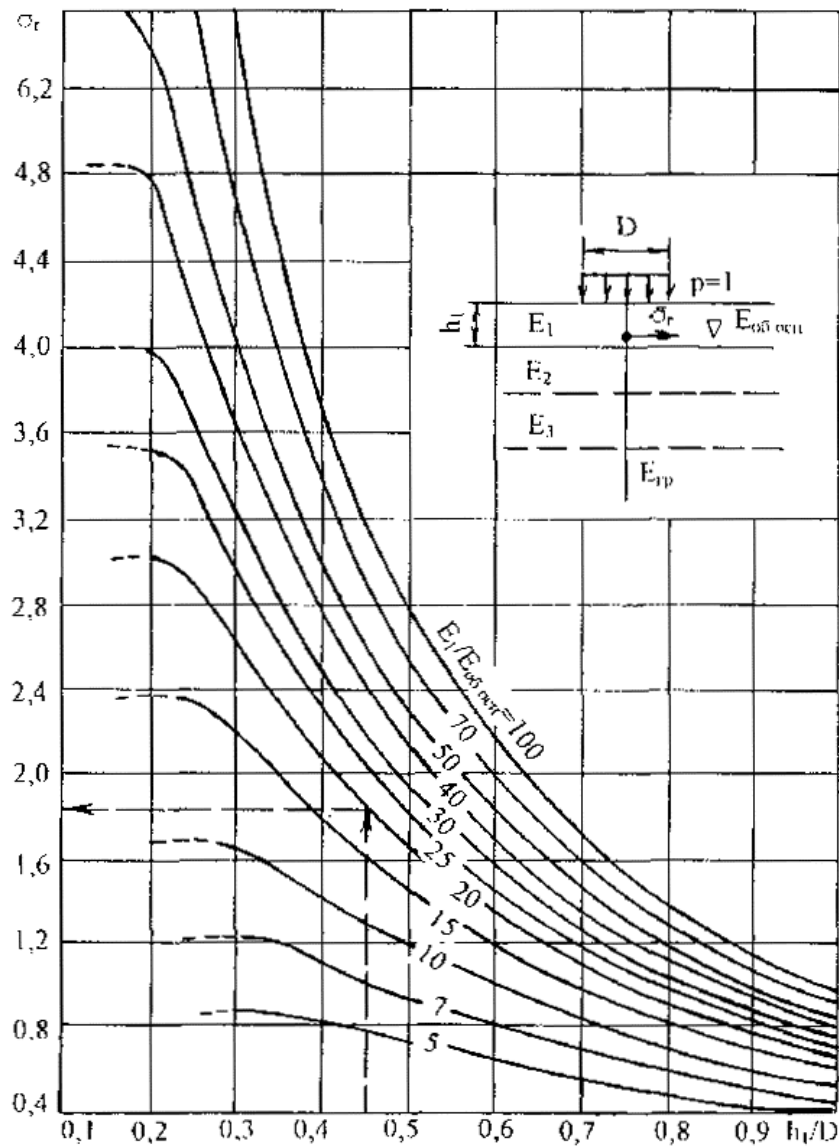


Рис. 5. Номограмма для определения растягивающего напряжения $\bar{\sigma}_r$ при изгибе в верхнем монолитном слое двухслойной системы

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе определяют по формуле:

$$R_N = R_o k_1 k_2 (1 - v_R t), \quad (17)$$

где R_o - нормативное значение предельного сопротивления растяжению (прочность) при изгибе при расчетной низкой весенней температуре при однократном приложении нагрузки, принимаемое по Приложению; k_1 - коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки; k_2 - коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодно-

климатических факторов (табл. 13); ν_R - коэффициент вариации прочности на растяжение, $\nu_R = 0,1$; t - коэффициент нормированного отклонения (Приложение).

Т а б л и ц а 13

Асфальтобетон расчетного слоя	Коэффициент k_2
Высокоплотный	1,00
Плотный: I марки	0,95
II марки	0,90
III марки	0,80
Пористый и высокопористый	0,80

Коэффициент k_1 , отражающий влияние на прочность усталостных процессов, вычисляют по выражению:

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\Sigma N_p}}, \quad (18)$$

где ΣN_p - расчетное суммарное число приложений расчетной нагрузки за срок службы монолитного покрытия, определяемое по формуле (6) или (7) с учетом числа расчетных суток за срок службы (табл. 7, 8); m - показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя (Приложение); α - коэффициент, учитывающий различие в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой, а также вероятность совпадения во времени расчетной (низкой) температуры покрытия и расчетного состояния грунта рабочего слоя по влажности, определяемый по Приложению.

Расчеты на усталостную прочность выполняют в следующем порядке:

а). Приводят конструкцию к двухслойной модели и определяют отношения

$$\frac{h}{D} \quad \text{и} \quad \frac{E}{E_n}$$

б). По полученным параметрам по номограмме рис. 5 находят значение $\bar{\sigma}_T$ и по формуле (16) вычисляют расчетное растягивающее напряжение.

в). Вычисляют предельное растягивающее напряжение по формуле (17). В пакете асфальтобетонных слоев за предельное растягивающее напряжение R_N принимают значение, отвечающее материалу нижнего слоя асфальтобетонного пакета

г). Проверяют условие (15) и при необходимости корректируют конструкцию.

4. ПРОВЕРКА НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ

В районах сезонного промерзания грунтов земляного полотна при неблагоприятных грунтовых и гидрологических условиях, наряду с требуемой прочностью и устойчивостью должна быть обеспечена достаточная морозоустойчивость дорожных одежд.

С этой целью применяют различные специальные мероприятия:

- использование непучинистых или слабопучинистых грунтов (табл. 14, 15) для сооружения верхней части земляного полотна, находящегося в зоне промерзания;
- осушение рабочего слоя земляного полотна, в том числе устройство дренажа для увеличения расстояния от низа дорожной одежды до уровня подземных вод;
- устройство гидроизолирующих или капилляропрерывающих прослоек для перехода от 2-ой или 3-й схемы увлажнения рабочего слоя земляного полотна к 1-й схеме;
- устройство морозозащитного слоя из непучинистых минеральных материалов, в т.ч. укрепленных малыми дозами минеральных или органических вяжущих;
- устройство теплоизолирующих слоев, снижающих глубину или полностью исключаящих промерзание грунта под дорожной одеждой;
- устройство основания дорожной одежды из монолитных материалов (типа тощего бетона или других зернистых материалов, обработанных минеральным или органическим вяжущим).

4.1. Конструкцию считают морозоустойчивой, если соблюдено условие:

$$l_{\text{пуч}} \leq l_{\text{доп}}, \quad (19)$$

где $l_{\text{пуч}}$ - расчетное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна; $l_{\text{доп}}$ - допускаемое для данной конструкции пучение грунта (табл. 14).

Т а б л и ц а 14

Тип дорожной одежды	Вид покрытия	Допустимая величина морозного пучения $l_{\text{доп}}$, см
Капитальный	Асфальтобетонное	4
Облегченный	Асфальтобетонное	6
Переходный	Щебеночное	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).

Расчет на морозоустойчивость необходимо выполнять для характерных участков или групп характерных участков дороги, сходных по грунтово-гидрологическим условиям, имеющим одну и ту же конструкцию дорожной одежды и схему увлажнения рабочего слоя земляного полотна.

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

$$l_{\text{пуч}} = l_{\text{пуч ср}} K_{\text{угв}} K_{\text{пл}} K_{\text{гр}} K_{\text{нагр}} K_{\text{вл}}, \quad (20)$$

где $l_{\text{пуч ср}}$ - величина морозного пучения при осредненных условиях, определяемая по рис. 6 в зависимости от толщины дорожной одежды (включая дополнительные слои основания), группы грунта по степени пучинистости (табл. 15) и глубины промерзания ($z_{\text{пр}}$); $K_{\text{угв}}$ - коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины залегания уровня грунтовых (H_y) или длительно стоящих поверхностных вод (рис. 7); $K_{\text{пл}}$ - коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя (табл. 16); $K_{\text{гр}}$ - коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки (табл. 17); $K_{\text{нагр}}$ - коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое и зависящий от глубины промерзания (рис. 8); $K_{\text{вл}}$ - коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта (табл. 18).

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 $K_{\text{угв}} = 0,43$.

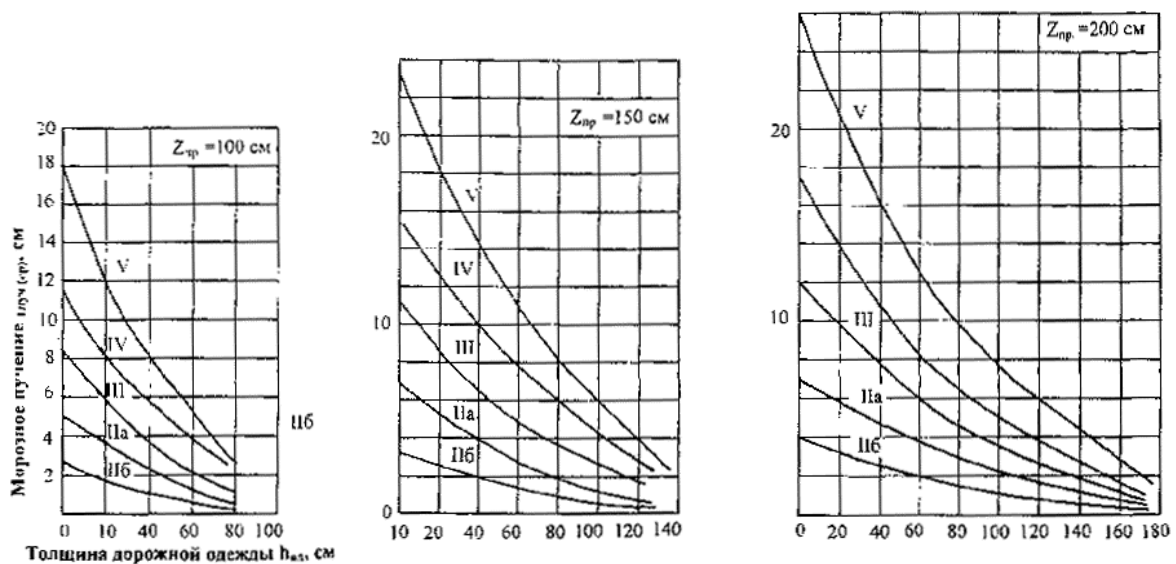


Рис. 6. График для определения осредненной величины морозного пучения
Примечания: 1. Кривую (II - V) выбирают в соответствии с табл. 15.

2. Кривую IIa выбирают при 2-й и 3-й схеме увлажнения рабочего слоя, кривую IIб - при 1-й схеме увлажнения.

Т а б л и ц а 15

Классификация грунтов по степени пучинистости

Грунт	Относительное морозное пучение	Степень пучинистости	Группа грунта
Песок гравелистый, крупный и средний с содержанием частиц мельче 0,05 до 2 %	Менее 1	Непучинистый	I
Песок гравелистый, крупный, средний, мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 до 15 %, супесь легкая крупная	Свыше 1 до 4	Слабопучинистый	II
Супесь легкая, суглинок легкий и тяжелый, глины	Свыше 4 до 7	Пучинистый	III
Песок пылеватый, супесь пылеватая, суглинок тяжелый пылеватый	Свыше 7 до 10	Сильнопучинистый	IV
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый	Свыше 10	Чрезмернопучинистый	V

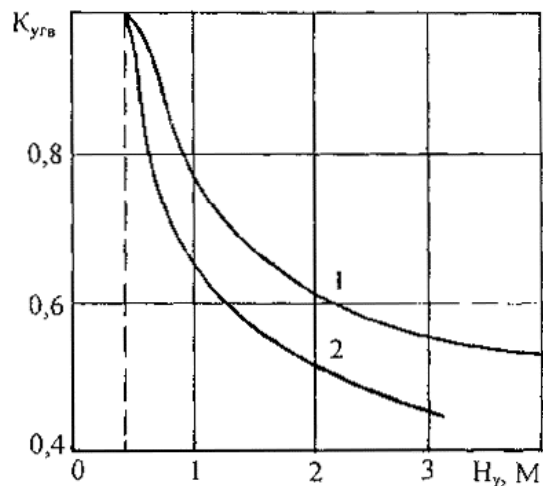


Рис. 7. Коэффициент $K_{угв}$ в зависимости от расстояния низа дорожной одежды до расчетного УГВ или УПВ: 1 - супесь пылеватая и тяжелая пылеватая, суглинок; 2 - песок, супесь легкая и легкая крупная

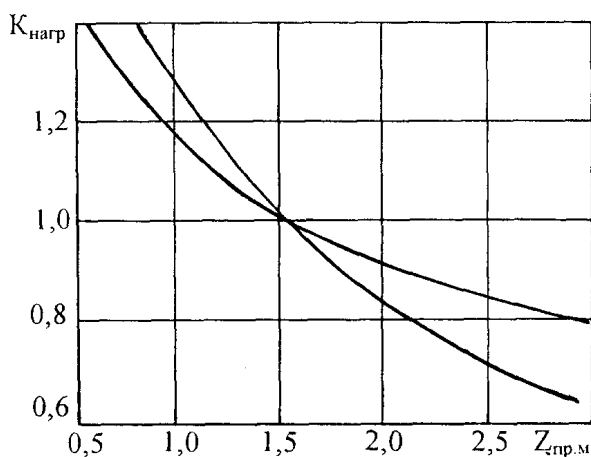


Рис. 8. Коэффициент $K_{нагр}$ в зависимости от глубины промерзания $z_{пр}$: 1 - супесь пылеватая и тяжелая пылеватая, суглинок; 2 - песок, супесь легкая и легкая крупная

Т а б л и ц а 16

Коэффициент уплотнения $K_{упл}$	Коэффициент $K_{пл}$ для грунта	
	песок пылеватый, супесь пылеватая, суглинки, глины	пески кроме пылеватых, супесь легкая и крупная
1,03 - 1,01	0,8	1,0
1,00 - 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

Т а б л и ц а 17

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

Т а б л и ц а 18

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

Если данные натуральных наблюдений отсутствуют, глубину промерзания дорожной конструкции допускается определять по формуле:

$$z_{пр} = z_{пр\ ср} \cdot 1,38, \quad (21)$$

где $z_{пр\ ср}$ - средняя глубина промерзания для данного района, устанавливаемая при помощи карт изолиний (рис. 9).

При глубине промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$ до 2 м $l_{пуч\ ср}$ устанавливают по графикам рис. 6. При $z_{пр}$ от 2,0 до 3,0 м $l_{пуч\ ср}$ вычисляют по формуле:

$$l_{пуч\ ср} = l_{пуч\ ср\ 2,0} \cdot [a + b (z_{пр} - c)], \quad (22)$$

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

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

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

Если при расчетном сроке службы до 10 лет полученная величина возможного пучения будет превышать требуемую (табл. 14), а при сроке службы более 10 лет будет превышать 80 % от требуемой, необходимо рассмотреть вариант устройства морозозащитного слоя. В этом случае предварительно определяют ориентировочную требуемую толщину морозоустойчивой конструкции дорожной одежды, используя графики рис. 6.

Для этого, зная допустимую величину морозного пучения $l_{доп}$, рассчитывают среднюю величину морозного пучения $l_{пуч\ ср}$ по формуле:

$$l_{пуч\ ср} = l_{доп} / K_{угв} K_{пл} K_{гр} K_{нагр} K_{вл}. \quad (23)$$

Затем по графику рис. 6 в соответствии с группой грунта по степени пучинистости определяют $h_{од}$.

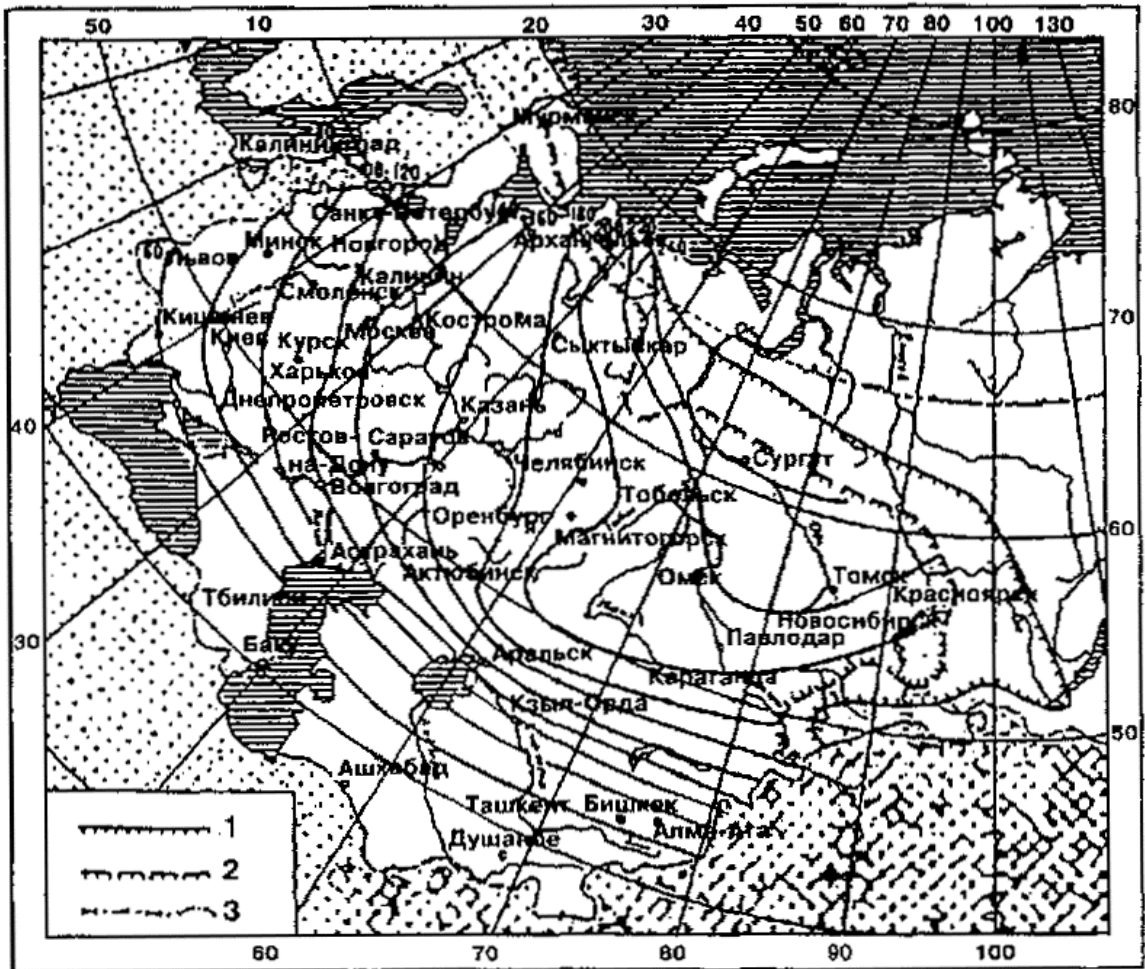


Рис. 9. Карта изолиний средней глубины промерзания $z_{пр\ ср}$ грунтов: 1 – граница сплошного распространения вечномерзлых грунтов; 2 – то же, островного; 3 - границы стран СНГ.

4.2. Уточненный расчет толщины морозозащитного слоя $h_{мз}$ выполняют по термическому сопротивлению конструкций. Для этого необходимо иметь следующие исходные данные:

- географическое местоположение рассматриваемого участка дороги;
- конструкцию дорожной одежды (наименование и толщина слоев), необходимая по условиям прочности и дренирования;
- схему увлажнения рабочего слоя земляного полотна (1, 2 или 3) и расчетную глубину залегания подземных вод от поверхности покрытия;
- наименование грунтов земляного полотна;

- расчетный срок службы дорожной одежды.

Толщину морозозащитного слоя $h_{мз}$ определяют по формуле:

$$h_{мз} = (R_{од тр} - R_{од}) \lambda_{мз}, \quad (24)$$

где $R_{од}$ - термическое сопротивление рассматриваемой конструкции дорожной одежды, [м²К/Вт]; $R_{од тр}$ - требуемое в данных условиях термическое сопротивление дорожной одежды, [м²К/Вт]; $\lambda_{мз}$ - коэффициент теплопроводности морозозащитного слоя, равный среднеарифметическому значению коэффициентов теплопроводности материала слоя в талом и мерзлом состояниях, Вт/(мК). При отсутствии фактически замеренных значений в расчет допускается включать табличные значения $\lambda_{мз}$ (Приложение).

Теоретическое сопротивление дорожной одежды $R_{од}$ вычисляют по формуле:

$$R_{од} = \sum_{i=1}^{i=n_{од}} h_{од i} / \lambda_{од i}, \quad (25)$$

где $n_{од}$ - число конструктивных слоев дорожной одежды без морозозащитного слоя; $h_{од i}$ - толщина i -го слоя, м; $\lambda_{од i}$ - коэффициент теплопроводности отдельных слоев в мерзлом состоянии, Вт/(мК).

Величину $R_{од тр}$ определяют в зависимости от номера изолинии на карте (рис. 10), соответствующей географическому положению рассматриваемого участка дороги. При расположении участка между изолиниями определяют два значения $R_{од тр}$ и вычисляют два значения $h_{мз}$ соответствующих этим изолиниям. Искомую толщину морозозащитного слоя определяют методом интерполяции в зависимости от расстояния от рассматриваемого участка дороги до соседних изолиний.

Значение требуемого термического сопротивления $R_{од тр}$ вычисляют по формуле:

$$R_{од тр} = R_{пр} \cdot K_{од} \cdot K_{увл} \cdot \delta, \quad (26)$$

где $R_{пр}$ - приведенное термическое сопротивление, определяемое при помощи номограммы (рис. 11); $K_{од}$ - коэффициент, учитывающий срок службы дорожной одежды, между капитальными ремонтами (табл. 19); $K_{увл}$ - коэффициент, учитывающий схему увлажнения рабочего слоя земляного полотна, при 2-й и 3-й схемах увлажнения $K_{увл} = 1$, при 1-ой

схеме увлажнения - по табл. 20; δ - понижающий коэффициент, для Π_1, Π_3 и Π_5 дорожно-климатических подзон $\delta = 1,0$; для Π_2, Π_4 и Π_6 $\delta = 0,95$; для Π_3 $\delta = 0,90$; для Π_4 $\delta = 0,85$ (схема дорожно-климатических зон в Приложении).

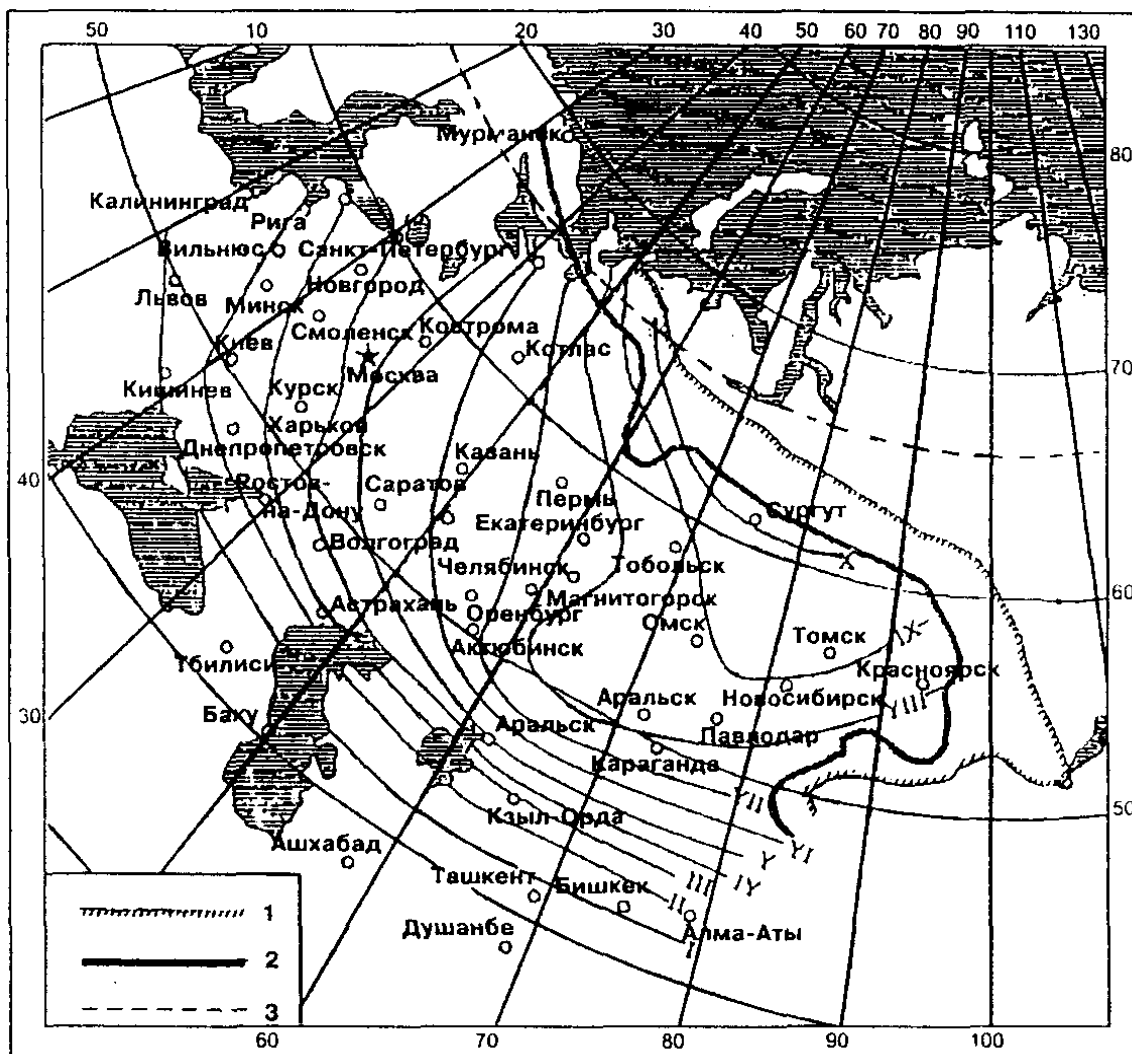


Рис. 10. Карта с изолиниями для определения требуемых значений термического сопротивления дорожной одежды:

I-X - номера изолиний; 1 - граница сплошного распространения вечномерзлых грунтов; 2 - то же, островного; 3 - Северный полярный круг.

Значение $R_{пр}$ определяют с помощью номограммы (рис. 11) методом итерации через отношение $l_{доп} / (C_{пуч} C_p)$ (горизонтальная ось номограммы). Значения $l_{доп}$, $C_{пуч}$ и C_p определяют соответственно по табл. 14, 21 и 22.

При назначении величины C_p по табл. 22 подбирают допустимую глубину промерзания $h_{пр доп}$ таким образом, чтобы получаемому значению

отношения $l_{\text{доп}} / (C_{\text{пуч}} C_p)$ соответствовала величина $h_{\text{пр доп}}$ на вертикальной оси номограммы, равная принятой при определении C_p . Подбор нужно начинать со значения $h_{\text{пр доп}}$, соответствующего наименьшей допустимой глубине промерзания.

Расстояние H_y от низа дорожной одежды до уровня подземных вод, необходимое для использования номограммы, определяют, приняв за исходную, полученную ориентировочную толщину морозозащитного слоя $h_{\text{мз}}$ и вычислив при заданном $h_{\text{мз}}$ общую толщину дорожной одежды $h_{\text{од}}$.

При глубине залегания подземных вод на участке дороги, отличающейся от указанных на номограмме, нужно определить два значения $R_{\text{пр}}$. Одно - при значении H_y на номограмме более, а другое - при значении H_y на номограмме менее данного. Искомое значение $R_{\text{пр}}$ устанавливают методом интерполяции между соответствующими величинами.

После завершения расчета толщины морозозащитного слоя по формуле (27) сравнивают полученное значение $h_{\text{мз}}$ с предварительно назначенной величиной $h_{\text{мз}}$. Разница не должна быть более 5 см. В противном случае расчет необходимо повторить.

Т а б л и ц а 19

№ изолинии на карте (рис. 10)	Коэффициент $K_{\text{од}}$ при сроке службы дорожной одежды, года		
	менее 10	10	20
I - II	0,70	0,85	1,0
III - X	0,80	0,90	1,0

Т а б л и ц а 20

№ изолинии на карте (рис. 10)	Коэффициент $K_{\text{увл}}$ при 1-й схеме увлажнения рабочего слоя земляного полотна
I	0,85
II	0,65
III	0,55
IV	0,45
V	0,40
VI	0,35
VII	0,30
VIII	0,30
IX	0,25
X	0,25

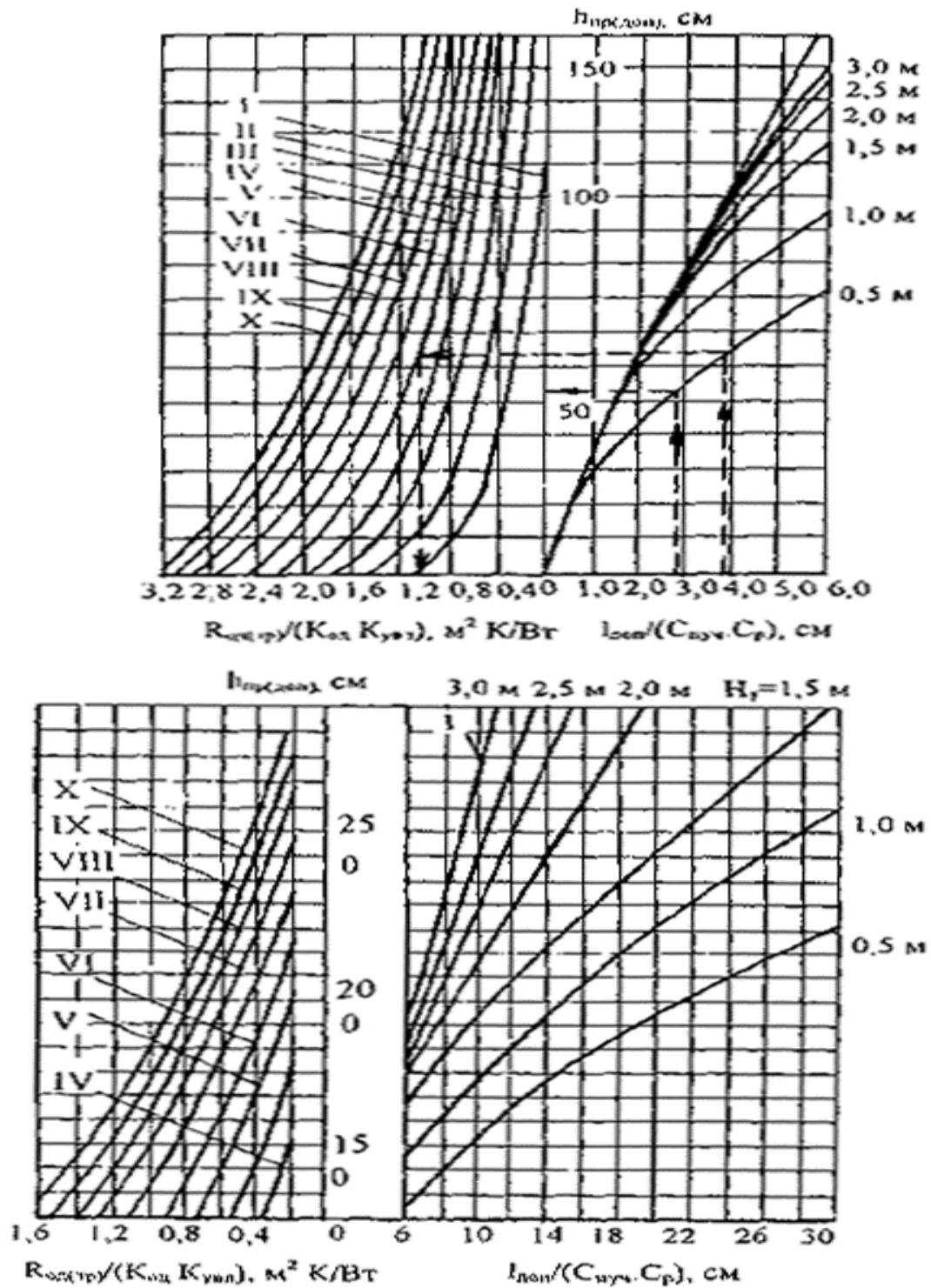


Рис. 11. Номограмма для определения требуемого термического сопротивления дорожной одежды $R_{од тр}$: I-X - номера изолиний на карте (рис. 10); I - кривая расчета для 1-го и 2-го типов увлажнения рабочего

слоя земляного полотна; H_y - глубина залегания расчетного УГВ от низа дорожной одежды, включая морозозащитные слои.

Т а б л и ц а 21

№ изолинии на карте (рис. 10)	Показатель $C_{пуч}$ для грунтов			
	Слабопучинистых	Пучинистых	Сильнопучинистых	Чрезмерно пучинистых
I	0,70	1,40	2,10	2,80
II	0,60	1,25	1,85	2,50
III	0,55	1,10	1,65	2,20
IV	0,50	1,00	1,50	2,00
V	0,45	0,90	1,35	1,80
VI	0,40	0,80	1,20	1,60
VII	0,35	0,70	1,05	1,40
VIII	0,30	0,60	0,90	1,20
IX	0,25	0,50	0,75	1,00
X	0,20	0,40	0,60	0,80

Примечание. Группу грунта по степени пучинистости допускается определять с помощью табл. 14.

Т а б л и ц а 22

Грунт земляного полотна	Коэффициент C_p в зависимости от толщины дорожной одежды ($h_{од}$, м) и допустимой глубины промерзания ($h_{пр доп}$, см)									
	$h_{од} = 0,5$			$h_{од} = 1,0$		$h_{од} = 1,5$		$h_{од} = 2,0$		
	$h_{пр доп}$			$h_{пр доп}$		$h_{пр доп}$		$h_{пр доп}$		
	0 - 50	51-100	> 100	0 -100	> 100	0 -100	> 100	0 -100	> 100	
Песок пылеватый	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,40	0,40	0,35	
Супесь легкая	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	
Супесь пылеватая	0,75	0,70	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	
Суглинок легкий, суглинок легкий пылеватый	0,80	0,75	0,70	0,70	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55	
Суглинок тяжелый, суглинок тяжелый пылеватый, глина	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,65	0,65	0,60	

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

Заключение

При конструировании и расчете нежестких дорожных одежд автомобильных дорог были решены следующие вопросы:

- выбор вида покрытия;
- назначение числа конструктивных слоев с выбором материалов для устройства слоев, размещение слоев в конструкции и назначение их ориентировочной толщины;
- предварительную оценку необходимости назначения дополнительных морозозащитных мер с учетом дорожно-климатической зоны, типа грунта рабочего слоя земляного полотна и схемы увлажнения рабочего слоя на различных участках;
- расчет дорожной одежды по допускаемому *упругому прогибу*;
- расчет конструкции по условию *сдвигоустойчивости* в грунте;
- расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от *растяжения при изгибе*;
- проверка конструкции на *морозоустойчивость*.

В задании к курсовому и дипломному проекту определены категория строящейся дороги, район строительства по климатическим условиям, грунт земляного полотна.

В данном учебном пособии не решены некоторые вопросы: конструирование и расчет нежестких дорожных одежд с использованием ЭВМ, вариантно проектирование дорожных одежд. Эти вопросы

предлагается решить в курсе дисциплины «Автоматизированное проектирование автомобильных дорог».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нежесткие дорожные одежды.
2. Конструктивные элементы дорожной одежды.
3. Классификация дорожных одежд и покрытий.
4. Общие принципы конструирования дорожной одежды.
5. Минимальная толщина конструктивных слоев дорожной одежды.
6. Выбор материалов для устройства слоев дорожной одежды.
7. Расчетные параметры нагрузки.
8. Приведение автомобилей к расчетному типу.
9. Расчетное суммарное число воздействия нагрузки.
10. Основные положения расчета нежестких дорожных одежд.
11. Требуемый модуль упругости дорожной одежды.
12. Характеристики грунтов и конструктивных слоев дорожных одежд из песчаных материалов.
13. Расчетная влажность грунта с учетом однородности.
14. Прочностные и деформационные характеристики конструктивных слоев из дорожно-строительных материалов.
15. Требуемые коэффициенты прочности нежестких дорожных одежд.
16. Расчет толщины слоев по критерию упругого прогиба.
17. Схемы приведения многослойной конструкции дорожной одежды к эквивалентной однослойной или двухслойной расчетной модели.
18. Расчет слоев по критерию сдвигоустойчивости.
19. В каких слоях недопустимы деформации сдвига.
20. Расчет слоев по критерию на растяжение при изгибе.
21. В каких слоях недопустимо образования трещин.
22. Проверка конструкции дорожной одежды на морозоустойчивость.
23. Классификация грунтов по степени пучинистости.
24. Расчет толщины морозозащитного слоя по термическому сопротивлению.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

1. Характеристики грунтов и песчаных конструктивных слоев

Расчетную влажность грунта W_p (в долях от влажности на границе текучести W_T) при суммарной толщине слоев дорожной одежды $Z_1 \geq 0,75$ м определяют по формуле:

$$W_p = (\bar{W}_{\text{таб}} + \Delta_1 \bar{W} - \Delta_2 \bar{W})(1 + \nu_t t) - \Delta_3 \bar{W}, \quad (1)$$

где $\bar{W}_{\text{таб}}$ - средняя многолетняя относительная (в долях от границы текучести W_T) влажность грунта, наблюдавшаяся в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна, по табл. 1 в зависимости от дорожно-климатической зоны и подзоны (рис. 1, табл. 2); $\Delta_1 \bar{W}$ - поправка на особенности рельефа территории, по табл. 3; $\Delta_2 \bar{W}$ - поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин, по табл. 4; $\Delta_3 \bar{W}$ - поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоев дорожной одежды, по графику рис. 2; ν_t - коэффициент вариации, $\nu_t = 0,1$, t - коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности K_H по табл. 5.

Т а б л и ц а 1

Средняя влажность грунта

Дорожно-климатическая зона	Дорожно-климатическая подзона	Схема увлажнения земляного полотна	Средняя влажность $\bar{W}_{\text{таб}}$, доля от W_T грунта			
			супесь легкая	песок пылеватый	суглинок легкий, тяжелый, пылеватый, глина	супесь пылеватая, тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый
I	I ₁	1	0,53	0,57	0,62	0,65
		2	0,55	0,59	0,65	0,67
		3	0,57	0,62	0,67	0,70
	I ₂	1	0,57	0,57	0,62	0,65
		2	0,59	0,62	0,67	0,70
		3	0,62	0,65	0,70	0,75
	I ₃	1	0,60	0,62	0,65	0,70
		2	0,62	0,65	0,70	0,75
		3	0,65	0,70	0,75	0,80

Дорожно-климатическая зона	Дорожно-климатическая подзона	Схема увлажнения земляного полотна	Средняя влажность $\bar{W}_{\text{таб}}$, доля от W_T грунта			
			супесь легкая	песок пылеватый	суглинок легкий, тяжелый, пылеватый, глина	супесь пылеватая, тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый
II	II ₁	1	0,60	0,62	0,65	0,70
		2	0,63	0,65	0,68	0,73
		3	0,65	0,67	0,70	0,75
	II ₂	1	0,57	0,59	0,62	0,67
		2	0,60	0,62	0,65	0,70
		3	0,62	0,64	0,67	0,72
	II ₃	1	0,63	0,65	0,68	0,73
		2	0,66	0,68	0,71	0,76
		3	0,68	0,70	0,73	0,78
	II ₄	1	0,60	0,62	0,65	0,70
		2	0,63	0,65	0,68	0,73
		3	0,65	0,67	0,70	0,75
	II ₅	1	0,65	0,67	0,70	0,75
		2	0,68	0,70	0,73	0,78
		3	0,70	0,72	0,75	0,80
	II ₆	1	0,62	0,64	0,67	0,72
		2	0,65	0,67	0,70	0,75
		3	0,67	0,69	0,72	0,77
III	III ₁	1	0,55	0,57	0,60	0,63
		2-3	0,59	0,61	0,63	0,67
	III ₂	1	0,58	0,60	0,63	0,66
		2-3	0,62	0,64	0,66	0,70
	III ₃	1	0,55	0,57	0,60	0,63
		2-3	0,59	0,61	0,63	0,67
IV	-	1	0,53	0,55	0,57	0,60
	-	2-3	0,57	0,58	0,60	0,64
V	-	1	0,52	0,53	0,54	0,57
	-	2-3	0,55	0,56	0,57	0,60

Т а б л и ц а 2

Дорожно-климатические зоны и подзоны

Зона и подзона	Примерные географические границы
I	Севернее линии Нивский - Сосновка - Новый Бор - Щельябож - Сыня - Суеватпуль - Белоярский - Ларьяк - Усть-Озерное - Ярцево - Канск - Выезжий Лог - Усть - Золотая - Сарыч - Сеп - Новоселово - Артыбаш - Иню - государственная граница - Симоново - Биробиджан - Болонь -

Зона и подзона	Примерные географические границы
	Многовершинный. Включает зону тундры, лесотундры и северо-восточную часть лесной зоны с распространением вечномерзлых грунтов
I ₁	Севернее линии Нарьян-Мар - Салехард - Курейка - Трубка Удачная - Верхоянск - Дружина - Горный Мыс - Марково
I ₂	Восточнее линии устье р. Нижняя Тунгуска - Ербогачен, Ленск - Бодайбо - Богдарин и севернее линии Могоча - Сковородино - Зeya - Охотск - Палатка - Слаутское. Ограничена с севера подзоной I ₁
I ₃	От южной границы зоны вечной мерзлоты до южной границы подзоны I ₂
II	От границы зоны I до линии Львов - Житомир - Тула - Н. Новгород - Ижевск - Томск - Канск. На Дальнем Востоке от границы зоны I до государственной границы. Включает зону лесов с избыточным увлажнением грунтов
II ₁	С севера и востока ограничена зоной I, с запада - подзоной II ₃ , с юга - линией Рославль - Клин - Рыбинск - Березники - Ивдель
II ₂	С севера ограничена подзоной II ₁ , с запада - подзоной II ₄ , с юга - зоной III, с востока и юга - границей зоны I
II ₃	С севера ограничена государственной границей, с запада - границей с подзоной II ₅ , с юга - линией Рославль - Клин - Рыбинск, с востока - линией Псков - Смоленск - Орел
II ₄	С севера ограничена подзоной II ₃ , с запада - подзоной II ₆ , с юга - границей с зоной III, с востока - линией Смоленск - Орел - Воронеж
II ₅	С севера и запада ограничена государственной границей, с востока - линией Минск - Бобруйск - Гомель, с юга - линией Барановичи - Рославль - Клин - Рыбинск
II ₆	С севера ограничена подзоной II ₅ , с запада - государственной границей, с юга - границей с зоной III, с востока - линией Минск - Бобруйск - Гомель
III	От южной границы зоны II до линии Кишинев - Кировоград - Белгород - Самара - Магнитогорск - Омск - Бийск - Туран. Включает лесостепную зону со значительным увлажнением грунтов в отдельные годы
III ₁	С севера ограничена зоной II, с запада - подзоной III ₂ , с юга - зоной IV, с востока - зоной I
III ₂	С севера ограничена зоной II, с запада - подзоной III ₃ , с юга - зоной IV, с востока - линией Смоленск - Орел - Воронеж
III ₃	С севера ограничена зоной II, с запада - государственной границей, с юга - зоной IV, с востока - линией Бобруйск - Гомель - Харьков
IV	От границы зоны III до линии Джульфа - Степанакерт - Кизляр - Волгоград и далее южнее на 200 км линии Уральск - Актюбинск - Караганда. Включает степную зону с недостаточным увлажнением грунтов
V	К юго-западу и югу от границы зоны IV и включает пустынную и пустынно-степную географические зоны с засушливым климатом и распространением засоленных грунтов

Т а б л и ц а 3

№ п/п	Тип местности по рельефу	Поправка $\Delta_1 \bar{W}$
-------	--------------------------	-----------------------------

№ п/п	Тип местности по рельефу	Поправка $\Delta_1 \bar{W}$
1.	Равнинные районы	0,00
2.	Предгорные районы (до 1000 м выше уровня моря)	0,03
3.	Горные районы (более 1000 м выше уровня моря)	0,05

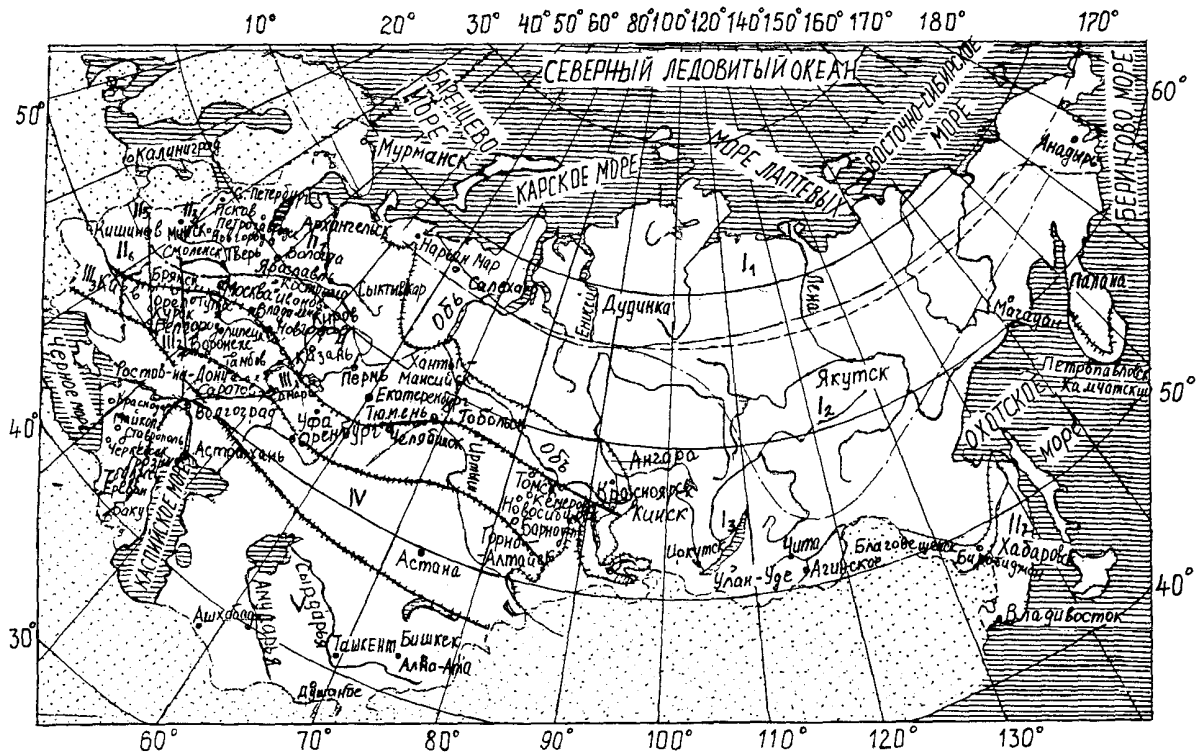


Рис. 1. Карта дорожно-климатических зон и подзон: ##### - Границы дорожно-климатических зон; _ _ - Границы дорожно-климатических подзон.

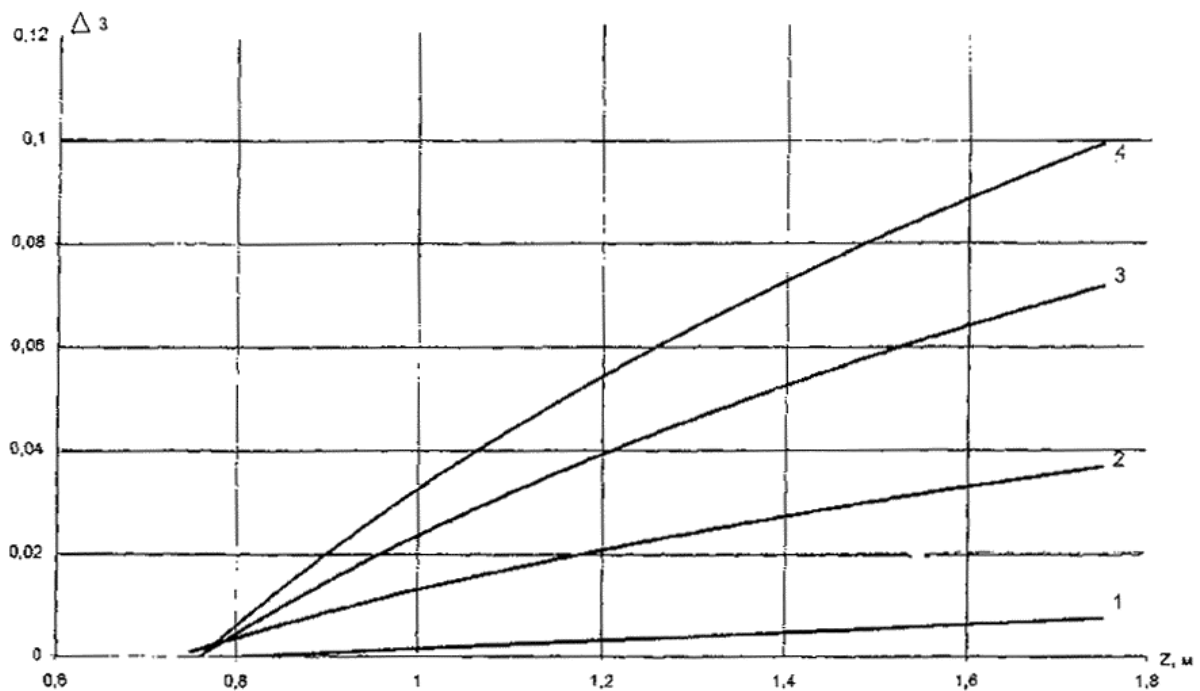


Рис. 2. График для определения поправки $\Delta_3 \bar{W}$ на влияние суммарной толщины стабильных слоев одежды: 1 - относительной влажности $0,75W_T$; 2 - то же $0,80W_T$; 3 - то же $0,85W_T$; 4 - то же $0,90W_T$.

Т а б л и ц а 4

№ п/п	Конструктивная особенность	Поправка $\Delta_2 \bar{W}$ в дорожно-климатических зонах			
		II	III	IV	V
1.	Наличие основания дорожной одежды из укрепленных грунтов:				
	- крупнообломочного грунта и песка	0,04	0,04	0,03	0,03
	- супеси	0,05	0,05	0,05	0,04
	- пылеватых песков и супесей, суглинка	0,08	0,08	0,06	0,05
2.	Укрепление обочин: - асфальтобетоном	0,05	0,04	0,03	0,02
	- щебнем (гравием)	0,02	0,02	0,02	0,02

Примечание. Поправки $\Delta_2 \bar{W}$ следует принимать только при 1-й схеме увлажнения.

Т а б л и ц а 5

Коэффициент нормированного отклонения

Уровень надежности, K_H	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,98
Нормированное отклонение, t	0,52	0,68	0,84	1,06	1,32	1,71	2,19

Т а б л и ц а 6

Сдвиговые характеристики глинистых грунтов

Расчетная относительная влажность	Сцепление, МПа при суммарном числе приложения нагрузки (ΣN_p)					Угол внутреннего трения, град. при суммарном числе приложения нагрузки (ΣN_p)				
	1	10^3	10^4	10^5	$\geq 10^6$	1	10^3	10^4	10^5	$\geq 10^6$
<i>Суглинки и глины</i>										
0,60	0,030	0,030	0,016	0,014	0,012	24	20	14,5	11	9
0,65	0,024	0,019	0,013	0,011	0,009	21	15	11	8	7
0,70	0,019	0,013	0,009	0,007	0,006	18	11,5	8,5	6,5	5,5
0,75	0,015	0,009	0,006	0,005	0,004	15	10	7,5	5	4
0,80	0,011	0,007	0,005	0,003	0,002	13	8	5	3	2,5
0,90	0,008	0,004	0,004	0,002	0,001	11,5	6,5	3,5	2,2	2
<i>Супеси и пески пылеватые</i>										
0,60	0,014	0,012	0,008	0,006	0,005	36	24	18	14	12

Расчетная относительная влажность	Сцепление, МПа при суммарном числе приложения нагрузки (ΣN_p)					Угол внутреннего трения, град. при суммарном числе приложения нагрузки (ΣN_p)				
	1	10^3	10^4	10^5	$\geq 10^6$	1	10^3	10^4	10^5	$\geq 10^6$
0,65	0,013	0,010	0,008	0,006	0,004	36	23,5	17	14	12
0,70	0,012	0,009	0,006	0,005	0,004	35	23,5	17	14	12
0,75	0,011	0,008	0,005	0,004	0,003	35	23	17	14	12
0,80	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	34	23	17	14	12
0,85	0,009	0,007	0,004	0,003	0,003	34	22	15	12	10
0,90	0,008	0,004	0,003	0,003	0,003	33	21	12,5	10	8

Примечания: 1. Значение сдвиговых характеристик при $\Sigma N_p = 1$ используются при расчете на статическое действие нагрузки. 2. Значения для супеси легкой крупной принимать как для песка мелкого с содержанием пылевато-глинистой фракции 8 % по табл. 8.

Т а б л и ц а 7

Модуль упругости грунтов

Грунт	Модуль упругости, при относительной влажности W / W_T , МПа									
	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Пески:										
- крупные	130									
- средние	120									
- мелкие	100									
- однородные	75									
- пылеватые	96	90	84	78	72	66	60	54	48	43
Супеси:										
- легкая	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
- пылеватая	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
- легкая крупная	65									
Суглинки:										
- легкий, тяжелый	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
- пылеватый	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
Глины	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23

Т а б л и ц а 8

Сдвиговые характеристики песков

№ п/п	Тип грунта	Сцепление, МПа и угол внутреннего трения, град при суммарном числе приложения нагрузки					
		1	10^3	10^4	10^5	$\geq 10^6$	
1.	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции:	с 0 %	<u>35</u>	<u>33</u>	<u>32</u>	<u>31</u>	<u>29</u>
			0,004	0,003	0,003	0,003	0,003
		с 5 %	<u>34</u>	<u>31</u>	<u>30</u>	<u>29</u>	<u>28</u>
			0,005	0,004	0,004	0,003	0,003
2.	Песок средний с содержанием пылевато-глинистой фракции:	с 0 %	<u>32</u>	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>28</u>	<u>22</u>
			0,004	0,004	0,003	0,003	0,002
		с 5 %	<u>33</u>	<u>30</u>	<u>29</u>	<u>28</u>	<u>26</u>
			0,005	0,004	0,003	0,003	0,002

№ п/п	Тип грунта	Сцепление, МПа и угол внутреннего трения, град при суммарном числе приложения нагрузки					
		1	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	≥10 ⁶	
3	Песок мелкий с содержанием пылевато- глинистой фракции:	0 %	<u>11</u> 0,003	<u>28</u> 0,003	<u>22</u> 0,002	<u>26</u> 0,002	<u>25</u> 0,002
		5 %	<u>31</u> 0,005	<u>22</u> 0,004	<u>26</u> 0,004	<u>21</u> 0,004	<u>24</u> 0,003
		8 %	<u>11</u> 0,006	<u>22</u> 0,005	<u>26</u> 0,004	<u>25</u> 0,003	<u>23</u> 0,002

Примечания: 1. В числителе - угол внутреннего трения в градусах, в знаменателе - сцепление в МПа. 2. Значения для супеси легкой крупной принимать как для песка мелкого с содержанием пылевато-глинистой фракции 8 %.

2. Прочностные и деформационные характеристики конструктивных слоев из дорожно-строительных материалов

Т а б л и ц а 9

Характеристики асфальтобетона при расчете на растяжение при изгибе

Асфальтобетон	Расчетный модуль упругости E , МПа	m	α	Нормативное сопротивление растяжению при изгибе R_0 , МПа
Высокоплотный на БНД марки:				
40 / 60	8600	6,0	5,0 / 5,6*	10,00
60 / 90	6000	5,5	5,2 / 5,9	9,80
90 / 130	4600	5,0	5,4 / 6,3	9,50
130 / 200	3500	4,5	5,8 / 6,8	9,30
200 / 300	2500	4,3	5,9 / 7,1	9,00
Плотный на БНД марки:				
40 / 60	6000	6,0	5,0 / 5,6	10,00
60 / 90	4500	5,5	5,2 / 5,9	9,80
90 / 130	3600	5,0	5,4 / 6,3	9,50
130 / 200	2600	4,5	5,8 / 6,8	9,30
200 / 300	2000	4,3	5,9 / 7,1	9,00
Пористый на БНД марки:				
40 / 60	3600	4,5	5,8 / 6,8	8,30
60 / 90	2800	4,3	5,9 / 7,1	8,00
90 / 130	2200	4,0	6,3 / 7,6	7,80
130 / 200	1800	3,75	6,6 / 8,2	7,60
200 / 300	1400	3,7	6,7 / 8,2	7,10
Высокопористый на БНД марки:				
40 / 60	3000	4,3	5,9 / 7,1	5,50 / 6,50**
60 / 90	2100	4,0	6,3 / 7,6	5,65 / 6,20

Асфальтобетон	Расчетный модуль упругости E , МПа	m	α	Нормативное сопротивление растяжению при изгибе R_o , МПа
90 / 130	1700	3,8	6,5 / 7,9	5,50 / -
Холодные асфальтобетоны:				
Бх	2600	3,0	8,0 / 10,3	4,90
Вх	2200	2,5	9,8 / 13,4	4,60
Гх	1800	2,0	13,2 / 19,5	4,20
Дх	1500	2,0	13,2 / 19,5	3,90

* в числителе - для II дорожно-климатической зоны, в знаменателе - для III - V зоны.

** для песчаного асфальтобетона.

Кратковременный модуль упругости асфальтобетонов
(при расчете конструкции по упругому прогибу и по условию сдвигоустойчивости)

Материал	Марка битума	Кратковременный модуль упругости E , МПа, при температуре покрытия, °С				
		10	20	30	40	50
Высокоплотный и плотный асфальтобетон	Вязкого БНД и БН: 40 / 60; 60 / 90; 90 / 130 130 / 200; 200 / 300	4400; 3200; 2400 1500; 1200	2600; 1800; 1200 800; 600	1550; 1100; 550 670; 500	850; 650; 550 460; 420	520; 460; 420 380; 360
	Жидкого: БГ 70 / 130; СГ 130 / 200 СГ 70 / 130; МГ 70 / 130	1000; 1000 800; 800	420; 420 360; 360	400; 400 350; 350	350; 350 350; 350	350; 350 350; 350
Пористый и высокопористый асфальтобетон	Вязкого БНД и БН: 40 / 60; 60 / 90; 90 / 130 130 / 200; 200 / 300	2800; 2000; 1400 1100; 950	1700; 1200; 800 600; 450	900; 700; 510 400; 350	540; 460; 380 340; 330	390; 360; 350 340; 330
Плотный дегтебетон	-	3800	1500	800	500	350
Пористый дегтебетон	-	2000	300	400	350	300
Холодный асфальтобетон						
Бх	-	1300	-	-	-	-
Вх	-	1100	-	-	-	-
Гх	-	900	-	-	-	-
Дх	-	750	-	-	-	-

Примечания: 1. Модули упругости пористого и высокопористого асфальтобетона даны применительно к песчаным смесям. При температуре от 30 до 50 °С модули упругости для мелкозернистых смесей следует увеличить на 10 %, а для крупнозернистых смесей - на 20 %.

2. При расчете на упругий прогиб принимать при $t = 10$ °С.

Т а б л и ц а 11

Модуль упругости асфальтобетона при расчете на длительную нагрузку

Вид асфальтобетона	Тип смеси	Расчетный модуль упругости E при статической нагрузке, МПа, при температуре, °С			
		20	30	40	50
Плотный	А	480	420	360	300
	Б	400	350	300	250
	В	320	280	240	200
	Г	300	270	220	200
	Д	200	180	160	150
Пористый и высокопористый	Крупнозернистая	360	320	280	250
	Мелкозернистая	290	250	220	200
	Песчаная	250	225	200	190
Холодный	Бх	180	-	-	-
	Вх	170	-	-	-
	Гх	160	-	-	-
	Дх	150	-	-	-

Примечание. Модуль упругости высокоплотного асфальтобетона принимать как для плотного асфальтобетона типа А.

Т а б л и ц а 12

Конструктивные слои из щебеночно-гравийно-песчаных смесей, обработанных вяжущими

Материал	Модуль упругости, E , МПа
Черный щебень, уложенный по способу заклинки	600 – 900
Слой из щебня по способу пропитки вязким битумом, эмульсией	400 – 600
Щебеночно-гравийно-песчаные смеси и крупнообломочные грунты (оптимального / неоптимального состава), обработанные: - органическими вяжущими - жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными	450 / 350
	950 / 700
То же, обработанные цементом для смеси марки:	20
	40
	60
	75
	100
То же, обработанные шлаковым вяжущим для смеси марки:	20
	40
	60
	75
	100

Примечание. Большие значения - для покрытий, меньшие - для оснований.

Т а б л и ц а 13

Конструктивные слои из грунтов, обработанных вяжущими

Материал	Модуль упругости, E, МПа
Пески гравелистые, крупные, средние / пески мелкие, супесь легкая и тяжелая пылеватая, суглинки легкие, обработанные: - органическим вяжущим - органическим вяжущим совместно с минеральным	430 / 280 700 / 600
То же, обработанные цементом для смеси марки:	
20	400 / 250
40	550 / 400
60	700 / 550
75	870 / 750
100	950 / 870
То же, обработанные шлаковым вяжущим для смеси марки:	
20	300 / 200
40	450 / 300
60	600 / 450
75	730 / 600
100	870 / 750

Т а б л и ц а 14

Конструктивные слои из каменных материалов

Материал	Модуль упругости, E, МПа
Щебеночные оптимальные смеси из высокоактивных шлаков при максимальном размере зерен до 40 мм	650 - 870
То же, из активных материалов	480 - 700
Щебеночные неоптимальные смеси из высокоактивных шлаков при максимальном размере зерен до 70 мм	450 - 650
То же, из активных материалов	370 - 480
Щебеночные (гравийные) оптимальные смеси для покрытий при максимальном размере зерен, мм:	
40	300 / 280
20	290 / 265
То же для оснований при максимальном размере зерен, мм:	
70	280 / 240
40	260 / 220
20	260 / 180
Щебеночно-песчаная смесь из неактивных и слабоактивных шлаков при максимальном размере зерен, мм:	
70	275
40	250
20	210
Щебень фракционированный 40 - 70 (70 - 120) мм с заклиной:	
- фракционированным мелким щебнем	450 / 350
- известняковой мелкой смесью или активным мелким шлаком	400 / 300
- мелким высокоактивным шлаком	450 / 400
- асфальтобетонной смесью	500 / 450
- цементопесчаной смесью М75 при глубине пропитки 0,25 -	450 - 700

Материал	Модуль упругости, E , МПа
0,75 h слоя	350 - 600

Примечания: 1. К высокоактивным материалам относятся шлаки, имеющие прочность при сжатии от 5 до 10 МПа в возрасте 90 сут. 2. К активным материалам - шлаки, имеющие прочность при сжатии от 2,5 до 5 МПа в том же возрасте. 3. В числителе - из легкоуплотняемого щебня; в знаменателе - из трудноуплотняемого щебня.

Таблица 15

Механические характеристики теплоизолирующих слоев

Материал	Модуль упругости, E , МПа
Пенопласт	13 - 34
Стиропорбетон	500 - 800
Аглопоритовый щебень, обработанный вязким битумом	400
Керамзитовый гравий, обработанный вязким битумом	500
Щебень с легким заполнителем, обработанный вязким битумом	500
Цементогрунт с перлитом	130
Цементогрунт с полистиролом	300
Цементогрунт с керамзитом	300
Битумоцементогрунт с перлитом	250 - 350
Цементогрунт с аглопоритом	250 - 350
Золошлаковые смеси, укрепленные цементом	150
Грунт, укрепленный золой уноса	200

Т а б л и ц а 16

Теплофизические характеристики дорожно-строительных материалов

Материал, грунт	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(мК)
Асфальтобетон горячий плотный	1,40
То же, пористый	1,25
То же, высокопористый	1,10 - 1,00
Аглопоритовый щебень, обработанный вязким битумом	0,23
Керамзитовый гравий, обработанный вязким битумом	0,64
Гравий (щебень), обработанные вязким битумом	0,52
Супесь, укрепленная битумной эмульсией	1,46
Цементобетон	1,74
Песок разномерный, укрепленный 6 - 10 % цемента	1,86
Песок мелкий, одномерный, укрепленный 10 % цемента	1,62
Цементогрунт с гранулами полистирола	0,41 - 0,58
Битумоцементогрунт с перлитом	0,52 - 0,58
Цементогрунт с аглопоритом	0,64 - 0,75
Шлакобетон	0,58

Материал, грунт	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(мК)
Керамзитобетон	0,75
Стиропорбетон	0,23
Слабопрочные известняки, укрепленные известью	1,16
Суглинок, укрепленный 6 - 12 % цемента	1,45
Суглинок, укрепленный 2 - 5 % цемента и 6 -2 % известью	1,33
Супесь, укрепленная 8 - 10 % цемента	1,51
Пенопласт	0,03 - 0,052
Пеноплэкс	0,03 - 0,032
Каменно-золошлаковая смесь, укрепленная 8 % цемента	0,70
Шлак топочный	0,46
Щебень из гранита	1,86
Щебень из известняка	1,39
Гравий	1,86
Песок крупный талый	1,74
То же, мерзлый	2,32
Песок средней крупности талый	1,91
То же, мерзлый	2,44
Песок мелкий талый	1,91
То же, мерзлый	2,32
Песок пылеватый талый	1,80
То же, мерзлый	2,20
Супесь талая	1,80
То же, мерзлая	2,03
Суглинок и глина талые	1,62
То же, мерзлые	1,97
Лессы талые	1,51
То же, мерзлые	2,09
Гранитный щебень, обработанный вязким битумом	1,28
Гравийно-песчаная смесь	2,10
Гравийно-песчаная смесь, укрепленная 10 % цемента	2,02

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Требуется запроектировать дорожную одежду при следующих *исходных данных*:

- автомобильная дорога категории I располагается в Московской области (II дорожно-климатическая зона);
- заданный срок службы дорожной одежды $T_{сл} = 15$ лет;
- заданная надежность $K_n = 0,98$;
- нагрузке типа A_1 ;
- приведенная интенсивность движения на конец срока службы $N_p = 3200$ авт/сут;

- приращение интенсивности движения $q = 1,04$;
- грунт рабочего слоя земляного полотна - супесь пылеватая, относится к сильнопучинистым грунтам;
- материал основания – щебеночно-песчаная смесь, обработанная цементом, марки 40 и песок средней крупности;
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – 3;

Алгоритм расчета

1. Вычисляем суммарное расчетное количество приложений расчетной нагрузки за срок службы по формуле (7):

$$\Sigma N_p = 0,7 \cdot 3200 \cdot \frac{20}{1,04^{14}} \cdot 125 \cdot 1,49 = 4818452,8 \text{ авт.},$$

где $K_c = 20$; $T_{рдг} = 125$ дней; $k_n = 1,49$.

2. Определяем расчетную влажность грунта рабочего слоя по формуле

(1) Приложения:

$$W_p = (0,72 - 0,05) (1 + 0,1 \cdot 2,19) W_T = 0,817 W_T,$$

где $\bar{W}_{таб} = 0,72 W_T$; $\Delta_1 \bar{W} = 0$; $\Delta_2 \bar{W} = 0,05$; $\Delta_3 \bar{W} = 0$; $t = 2,19$.

3. Предварительно назначаем конструкцию, прочностные и деформационные характеристики конструктивных слоев из дорожно-строительных материалов (Приложение).

Материал слоя	Толщина слоя, см	Расчет по упругому прогибу, E , МПа	Расчет на сдвигу стойчивость, E , МПа	Расчет на растяжение при изгибе			
				E , МПа	R_o , МПа	α	m
Асфальтобетон плотный на битуме БНД 60/90	4	3200	1800	4500	9,80	5,2	5,5
Асфальтобетон пористый на битуме БНД 60/90	8	2000	1200	2800	8,00	5,9	4,3
Асфальтобетон высокопористый на битуме БНД 60/90	18	2000	1200	2100	5,65	6,3	4,0
Укрепленная цементом щебеночно-песчаная смесь М40	30	600	600	600	-	-	-
Песок средней крупности	40	120	120	120	-	-	-
Супесь пылеватая $0,817 W_T$	-	30	30	30	-	-	-

4. Требуемый модуль упругости определяем по формуле (10):

$$E_{mp} = 98,65 [lg 4 818 452,8 - 3,55] = 309 \text{ МПа.}$$

5. Расчет по допускаемому упругому прогибу ведем послойно, начиная с подстилающего грунта по номограмме рис. 2 при $p = 0,6$ МПа, $D = 37$ см:

$$\text{а). } \frac{E_n}{E_6} = \frac{E^{zp}}{E^n} = \frac{30,3}{120} = 0,25, \quad \frac{h_6}{D} = \frac{h^n}{D} = \frac{40}{37} = 1,08,$$

$$\frac{E_{\text{общ}}^n}{E^n} = 0,58,$$

$$E_{\text{общ}}^n = 0,58 \cdot 120 = 69,6 \text{ МПа}.$$

$$\text{б). } \frac{E_{\text{общ}}^n}{E_{\text{цеб}}^n} = \frac{69,6}{600} = 0,116,$$

$$\frac{h_{\text{цеб}}}{D} = \frac{30}{37} = 0,81,$$

$$\frac{E_{\text{общ}}^{\text{цеб}}}{E_{\text{цеб}}^{\text{общ}}} = 0,33,$$

$$E_{\text{общ}}^{\text{цеб}} = 0,33 \cdot 600 = 198 \text{ МПа}.$$

$$\text{в). } \frac{E_{\text{общ}}^{\text{цеб}}}{E^{a/\bar{b}_3}} = \frac{198}{2000} = 0,10,$$

$$\frac{h^{a/\bar{b}_3}}{D} = \frac{18}{37} = 0,49,$$

$$\frac{E_{\text{общ}}^{a/\bar{b}_3}}{E^{a/\bar{b}_3}} = 0,22,$$

$$E_{\text{общ}}^{a/\bar{b}_3} = 0,22 \cdot 2000 = 440 \text{ МПа}.$$

$$\text{г). } \frac{E_{\text{общ}}^{a/\bar{b}_3}}{E^{a/\bar{b}_2}} = \frac{440}{2000} = 0,22,$$

$$\frac{h^{a/\bar{b}_2}}{D} = \frac{8}{37} = 0,22,$$

$$\frac{E_{\text{общ}}^{a/\bar{b}_2}}{E^{a/\bar{b}_2}} = 0,28,$$

$$E_{\text{общ}}^{a/\bar{b}_2} = 0,28 \cdot 2000 = 560 \text{ МПа}.$$

$$\text{д). } \frac{E_{\text{общ}}^{a/\bar{b}_2}}{E^{a/\bar{b}_1}} = \frac{560}{3200} = 0,175,$$

$$\frac{h^{a/\bar{b}_1}}{D} = \frac{4}{37} = 0,11$$

$$\frac{E_{\text{общ}}^{a/\bar{b}_1}}{E^{a/\bar{b}_1}} = 0,19,$$

$$E_{\text{общ}}^{a/\bar{b}_1} = 0,19 \cdot 3200 = 608 \text{ МПа}.$$

е). Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу:

$$\frac{E_{\text{общ}}}{E_{\text{гр}}} = \frac{608}{309} = 1,97$$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу - 1,50 (табл. 10).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

6. Рассчитываем конструкцию по условию сдвигоустойчивости в грунте.

а). Действующие в грунте активное напряжение сдвига вычисляем по формуле (13).

Для определения $\bar{\tau}_n$ предварительно назначенную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели.

В качестве нижнего слоя модели принимаем грунт (супесь пылеватую) со следующими характеристиками (при $W_p = 0,817W_T$ и $\Sigma N_p = 4\ 818\ 453$ авт.): $E_n = 30$ МПа, $\varphi_N = 11,4^\circ$ и $c_N = 0,003$ МПа (Приложение).

б). Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (12), в которой модуль упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по Приложению при расчетной температуре 20°C .

$$E'_s = \frac{1800 \cdot 4 + 1200 \cdot (8 + 18) + 600 \cdot 30 + 120 \cdot 40}{100} = 612 \text{ МПа} .$$

в). По отношениям $\frac{E'_s}{E_n} = \frac{612}{30} = 20,4$ и $\frac{h'_s}{D} = \frac{100}{37} = 2,70$ и при $\varphi_N = 11,4^\circ$ с помощью номограммы (рис. 3) находим удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки: $\bar{\tau}_n = 0,0063$ МПа.

По формуле (13): $T = 0,0063 \cdot 0,6 = 0,00378$ МПа.

г). Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (14):

$c_N = 0,003$ МПа, $\gamma_{ср} = 0,002$ кг/см³, $\varphi_{ср} = 34^\circ$, $k_\partial = 1,0$ (Приложение),

$z_{оп} = 4 + 8 + 18 + 30 + 40 = 100$ см,

$T_{пр} = 0,003 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 100 \cdot \text{tg } 34^\circ = 0,0165$.

д). $K_{nc} = \frac{0,0165}{0,00378} = 4,4$, что больше $K_{nc}^{мп} = 1,10$ (табл. 10).

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в грунте.

7. Рассчитываем конструкцию по условию *сдвигоустойчивости* в песчаном слое основания.

а). Действующие в песчаном слое основания активное напряжение сдвига вычисляем по формуле (13).

Для определения $\bar{\tau}_n$ предварительно назначенную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели.

Нижнему слою модели присваиваем следующие характеристики:

$E_{общ}^n = 69,6$ МПа, $\varphi_N = 27^\circ$ и $c_N = 0,002$ МПа (Приложение).

б). Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (12), в которой модуль упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по Приложению при расчетной температуре 20 °С.

$$E_{\epsilon} = \frac{1800 \cdot 4 + 1200 \cdot (8 + 18) + 600 \cdot 30}{60} = 940 \text{ МПа} .$$

в). По отношениям $\frac{E_{\epsilon}}{E_{\eta}} = \frac{940}{69,6} = 13,5$ и $\frac{h_{\epsilon}}{D} = \frac{60}{37} = 1,62$ и при $\varphi_N = 27^{\circ}$ с

помощью номограммы (рис. 3) находим удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки: $\bar{\tau}_n = 0,012$ МПа.

По формуле (13): $T = 0,012 \cdot 0,6 = 0,0072$ МПа.

г). Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в песчаном слое определяем по формуле (14):

$c_N = 0,002$ МПа , $\gamma_{cp} = 0,002$ кг/см³, $\varphi_{CT} = 32^{\circ}$, $k_{\partial} = 4,0$ (Приложение),

$z_{on} = 4 + 8 + 18 + 30 = 60$ см ,

$T_{пр} = 4 (0,002 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 60 \cdot \text{tg } 32^{\circ}) = 0,038$.

д). $K_{nc} = \frac{0,038}{0,0072} = 5,3$, что больше $K_{nc}^{mp} = 1,10$ (табл. 10).

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в песчаном слое основания.

8. Рассчитываем конструкцию на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от *растяжения при изгибе*.

Расчет выполняем в следующем порядке:

а). Приводим конструкцию к двухслойной модели, в которой нижний слой модели - часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т.е. слои основания и грунт рабочего слоя.

Модуль упругости нижнего слоя модели определяем по номограмме рис. 2

- $E_{\eta} = E_{\text{общ}}^{\text{цеб}} = 198$ МПа.

К верхнему слою относят все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя модели ($h_{\text{в}} = 30$ см) вычисляем по формуле (12):

$$E_{\epsilon} = \frac{4500 \cdot 4 + 2800 \cdot 8 + 2100 \cdot 18}{30} = 2607 \text{ МПа}$$

б). По отношениям $\frac{h_e}{D} = \frac{30}{37} = 0,81$ и $\frac{E_e}{E_n} = \frac{2607}{198} = 13,2$ по номограмме рис. 5

определяем $\bar{\sigma}_r = 0,77$.

Расчетное растягивающее напряжение вычисляем по формуле (16):

$$\sigma_r = 0,77 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 0,393 \text{ МПа.}$$

в). Рассчитываем предельное растягивающее напряжение по формуле (17):

$R_0 = 5,65$ МПа для нижнего асфальтобетонного пакета, $\nu_R = 0,10$, $t = 2,19$, $m = 4$, $\alpha = 6,3$ (Приложение), $\Sigma N_p = 4\,818\,452,8$ авт., $k_2 = 0,80$ (табл. 13),

$$k_1 = \frac{6,3}{\sqrt[4]{4818452,8}} = 0,134 \text{ ,}$$

$$R_N = 5,65 \cdot 0,134 \cdot 0,80 (1 - 0,1 \cdot 2,19) = 0,473 \text{ МПа,}$$

г). $\frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{0,473}{0,393} = 1,2$, что больше, чем $K_{np}^{mp} = 1,10$ (табл. 10).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности на растяжение при изгибе.

9. Проверка конструкции на *морозостойчивость*.

Расчет выполняем для гнасыпи высотой 1,5 м при глубине залегания грунтовых вод 0,5 м от поверхности окружающей местности или 1,0 м от низа дорожной одежды $H_y = 1,5 - 1,0 + 0,5 = 1,0$ м.

9.1. По карте рис. 9. находим среднюю глубину промерзания $z_{пр\ ср}$ для условий г. Москвы и по формуле (21) определяем глубину промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$:

$$z_{пр} = 1,4 \cdot 1,38 = 1,93 \text{ м} \approx 2 \text{ м.}$$

Для глубины промерзания 2 м по номограмме рис. 6 по кривой VI для сильнопучинистых грунтов определяем величину морозного пучения для осредненных условий: $l_{пуч\ ср} = 5,0$ см.

Находим коэффициенты: $K_{УГВ} = 0,78$ (рис. 7); $K_{пл} = 1,0$ (табл. 16); $K_{гр} = 1,1$ (табл. 17); $K_{нагр} = 0,92$ (рис. 8); $K_{вл} = 1,2$ (табл. 18).

По формуле (20) находим величину пучения для данной конструкции:

$$l_{пуч} = 5,0 \cdot 0,78 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,92 \cdot 1,2 = 4,7 \text{ см.}$$

Поскольку для данного типа дорожной одежды допустимая величина морозного пучения согласно табл. 14 составляет 4 см, следует назначить морозозащитный слой и рассчитать его толщину.

Предварительно ориентировочно определяем необходимую толщину морозозащитного слоя при допустимой величине морозного пучения $l_{\text{доп}} = 4$ см.

Для этого определяем величину морозного пучения для осредненных условий, при которой пучение для данной конструкции не превышает 4 см:

$$l_{\text{пуч.ср}} = 4 : (0,78 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,92 \cdot 1,2) = 4,2 \text{ см.}$$

По номограмме рис. 6 определяем требуемую толщину дорожной одежды $h_{\text{од}} = 1,10$ м. Для обеспечения морозоустойчивости толщина морозозащитного слоя $h_{\text{мрз}} = 1,1 - 1,0 = 0,10$ м.

9.2. Для уточнения требуемой толщины морозозащитного слоя выполняем расчеты с учетом теплофизических характеристик отдельных слоев.

Материал	Толщина слоя $h_{\text{од}}$, м	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{од}}$, Вт/(мК)
Плотный асфальтобетон	0,04	1,40
Пористый асфальтобетон	0,08	1,25
Высокопористый асфальтобетон	0,18	1,05
Укрепленная щебеночно-песчаная смесь	0,30	2,10
Песок средней крупности	0,40	2,18

Примечание. При промерзании песок в талом, а затем в мерзлом состоянии.

Для использования в морозозащитном слое назначаем среднезернистый песок с коэффициентами теплопроводности $\lambda_{\text{т}} = 1,91$ Вт/(мК) и $\lambda_{\text{м}} = 2,44$ Вт/(мК) соответственно в талом и мерзлом состояниях и определяем $\lambda_{\text{ср}}$:

$$\lambda_{\text{ср}} = (1,91 + 2,44) / 2 = 2,18 \text{ Вт/(мК).}$$

По формуле (25) определяем термическое сопротивление дорожной одежды без морозозащитного слоя:

$$R_{\text{од}} = 0,04 : 1,40 + 0,08 : 1,25 + 0,18 : 1,05 + 0,30 : 2,10 + 0,4 : 2,18 = 0,59 .$$

По карте изолиний рис. 10 определяем номер изолинии - V.

По табл. 21 находим $C_{\text{пуч}} = 1,35$.

По табл. 22 при общей толщине дорожной одежды $h_{\text{од}} = 1,10$ м для сильнопучинистого грунта методом интерполяции определяем $C_{\text{р}} = 0,64$.

Вычисляем отношение $l_{\text{доп}} / (C_{\text{пуч}} \cdot C_{\text{р}}) = 4 / (1,35 \cdot 0,64) = 4,6$ см.

По номограмме рис. 11 методом интерполяции определяем приведенное термическое сопротивление $R_{\text{пр}} = 0,80$ (м²К/Вт).

По табл. 19 $K_{од} = 0,95$; $K_{увл} = 1,0$; $\delta = 0,95$.

По формуле (26) $R_{од тр} = 0,80 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 0,95 = 0,72$ (м²К/Вт).

По формуле (24) $h_{мз} = (0,72 - 0,59) \cdot 2,18 = 0,28$ м.

Поскольку разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ превышает 5 см, принимаем $h_{мз} = 0,28$ м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ОДН 218.046-01. Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. - М., 2000. - 209 с.
2. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. - М., 1986. - 52 с.
3. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги. - М., 1986. - 111 с.
4. *Бабаков В.Ф., Андреев О.В.* Проектирование автомобильных дорог: В 2 т. - М., 1979. - Т. 1. 367 с. Т. 2. 407 с.
5. Проектирование автомобильных дорог: Справ. Инженера-дорожника. / Под ред. Г.А. Федотова. - М., 1989. - 437 с.
6. Материалы для строительства автомобильных дорог: Метод. указания к курсовому и дипломному проектированию / Л.И. Самойлова, Г.В. Проваторова, Г.Е. Абрамова. / Владим. гос. ун-т. - Владимир, 2001. - 32 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ.....	5
2. РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ.....	9
3. РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ПРОЧНОСТЬ.....	15
3.1. КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ.....	15
3.2. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ ПО КРИТЕРИЮ УПРУГОГО ПРОГИБА.....	16

3.3. РАСЧЕТ СЛОЕВ ПО КРИТЕРИЮ СДВИГОУСТОЙЧИВОСТИ..	20
3.4. РАСЧЕТ СЛОЕВ ПО КРИТЕРИЮ НА РАСТЯЖЕНИЕ	
ПРИ ИЗГИБЕ.....	24
4. ПРОВЕРКА НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ.....	27
Заключение.....	38
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	39
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	40
ПРИМЕР РАСЧЕТА.....	51
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	68

Учебное издание

САМОЙЛОВА Любовь Ивановна

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЖЕСТКИХ
ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Учебное пособие

Редактор Р.С. Кузина

Корректор

ЛР № 020275. Подписано в печать 30.02.03.

Формат 60×84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,60. Уч.-изд. л. 3,00. Тираж 100 экз.

Заказ

Владимирский государственный университет.

Подразделение оперативной полиграфии

Владимирского государственного университета.

Адрес университета и подразделения оперативной полиграфии:

600000, Владимир, ул. Горького, 87.

E-mail: rio-m2@vpti.vladimir.su