

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова

**Расчет конструкций дорожных одежд  
дорог промышленных предприятий**

Методические указания к выполнению  
курсовой работы и практических заданий  
по дисциплине «Проектирование дорог промышленных предприятий»  
для студентов специальности  
23.05.06 – Строительство железных дорог, мостов и транспортных  
тоннелей

Белгород  
2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова  
Кафедра автомобильных дорог и аэродромов

Утверждено  
научно-методическим советом  
университета

**Расчет конструкций дорожных одежд  
дорог промышленных предприятий**

Методические указания к выполнению  
курсовой работы и практических заданий  
по дисциплине «Проектирование дорог промышленных предприятий»  
для студентов специальности  
23.05.06 – Строительство железных дорог, мостов и транспортных  
тоннелей

Белгород  
2016

УДК 625.8 (075)

ББК 39.311 я 7

P24

Составители: канд. техн. наук, проф. Н.Г. Горшкова  
канд. техн. наук, ст.преп. А.В. Сачкова  
Рецензент канд. техн. наук, проф. Г.С. Духовный

**Расчет** конструкций дорожных одежд дорог промышленных P24 предприятий: методические указания к выполнению курсовой работы и практических заданий / сост.: Н.Г. Горшкова, А.В. Сачкова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 38 с.

В методических указаниях приводятся основные требования к структуре и содержанию курсовой работы по дисциплине «Проектирование дорог промышленных предприятий», изложены порядок конструирования и методика расчета дорожных одежд нежесткого и жесткого типов. Приведены примеры расчета.

Методические указания предназначены для студентов специальностей 23.05.06 – Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей. Издание публикуется в авторской редакции.

УДК 625.8 (075)

ББК 39.311 я 7

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2016

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Закрепить теоретические знания студентов по конструированию и расчету дорожных одежд жесткого и нежесткого типов для дорог промышленных предприятий, научить их рассчитывать дорожные одежды автомобильных дорог по действующим методикам для различных категорий дорог, пользоваться нормативно-справочными материалами.

## **СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки, содержащей следующие разделы:

1. Описание природно-климатических условий района строительства.
2. Расчет конструкции нежесткой дорожной одежды для внутренних дорог предприятия.
3. Расчет конструкции жесткой дорожной одежды для порожнего движения промышленного транспорта.
4. Расчет конструкции жесткой дорожной одежды для груженого движения промышленного транспорта.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТЫ**

Пояснительная записка (объем 25-30 с.) должна состоять из титульного листа, задания на проектирование, содержания, текста пояснительной записки и списка использованной литературы.

Текст пояснительной записки с необходимыми расчетами, обоснованиями, рисунками, таблицами и титульный лист должны быть написаны на стандартных листах формата А4 и оформлены в соответствии с ЕСКД. Формулы приводятся с расшифровкой всех символов и с последующей подстановкой числовых величин. Страницы пояснительной записки подлежат сквозной нумерации, ссылки на литературу указываются в квадратных скобках, список литературы составляется в порядке ее использования.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Исходными данными являются: район проектирования; перспективная интенсивность движения для внутренних дорог; расчетный объем перевозок, расчетный автомобиль и класс бетона покрытия для дорог промышленного транспорта; поперечный профиль дороги; грунтовые условия.

### СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

#### 1. Краткое описание природно-климатических условий района строительства

При описании природных условий необходимо указать, в какой климатической зоне проектируется дорожная одежда, и дать краткую характеристику данной климатической зоны.

В пояснительной записке приводится краткое описание геофизических особенностей района нахождения дороги по источникам [1,2].

*Климат.* Студент собирает и изучает следующие характеристики климата:

- среднемесячные, максимальные и минимальные температуры воздуха;
- летнее, зимнее и среднегодовое количество осадков;
- глубину промерзания;
- господствующие ветры в летний и зимний период.

*Рельеф местности и растительность.* Используя топографическую карту, произвести анализ общей характеристики района.

*Грунтово-геологические и гидрологические условия.* Для данного района строительства в пояснительной записке необходимо привести краткое описание грунтово-геологических и гидрологических условий.

*Экономика района и дорожно-строительные материалы.* Кратко охарактеризовать дорожную сеть района строительства, промышленность, местные материалы и отходы местного производства [1]. Выявить возможность использования местных материалов для строительства дороги, обосновать и перечислить виды привозных материалов.

## 2. Назначение конструкции и расчет нежестких дорожных одежд на прочность

### 2.1. Общие положения

Дорожные одежды надлежит подразделять:

**1. По характеру сопротивления нагрузкам транспортных средств и по реакции на климатические воздействия** — на жесткие (с монолитным и сборным цементобетонным, армобетонным, железобетонным покрытиями, а также с асфальтобетонным покрытием на цементобетонном основании) и нежесткие (с покрытиями из асфальтобетона, кроме укладываемого на цементобетонное основание, с покрытиями и слоями оснований из каменных, щебеночных, гравийных материалов, грунтов и местных материалов);

**2. По сроку службы и капитальности** — на капитальные, облегченные, переходные и низшие.

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

Дорожную одежду следует проектировать с требуемым уровнем надежности, под которой понимают вероятность безотказной работы в течение межремонтного периода. Отказ конструкции по прочности физически может характеризоваться образованием продольной и поперечной неровности поверхности дорожной одежды, связанной с прочностью конструкции (поперечные неровности, колея, усталостные трещины), с последующим развитием других видов деформаций и разрушений (частые трещины, сетка трещин, выбоины, просадки, проломы и т.д.). Дорожные одежды внутренних автомобильных дорог промышленных предприятий следует проектировать в соответствии с основными положениями СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги» [3] и с учетом требований раздела «Дорожные одежды» СНиП 2.05.07-91\* «Промышленный транспорт» [4].

Для дорог, имеющих ярко выраженную направленность грузовых потоков, проектирование дорожных одежд капитального и облегченного типов следует производить раздельно для грузового и порожнего направлений движения автотранспортных средств.

Прочность конструкции количественно оценивается величиной коэффициента прочности. Коэффициент прочности вновь проектируемой конструкции должен быть таким, чтобы в заданный межремонтный период не наступил отказ по прочности с вероятностью более заданной, т.е. чтобы была обеспечена заданная (требуемая) надежность. Минимальные значения коэффициентов надежности и прочности приведены в табл. 3.1 [5].

При выполнении расчетов и конструировании дорожных одежд необходимо руководствоваться следующими минимальными значениями проектных сроков их службы до капитального ремонта:

- капитального типа с покрытиями из цементобетона, армобетона и железобетона – 25 лет;
- из асфальтобетона – 20 лет.

## **2.2. Последовательность расчета по критериям прочности**

**1. Расчет дорожной одежды по критерию упругого прогиба на основе зависимости требуемого общего модуля упругости конструкции от суммарного числа приложений нагрузки.**

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.

**2. Расчет дорожной одежды, отвечающей критерию упругого прогиба, с учетом механизма нарушения прочности в ее отдельных конструктивных слоях по двум независимым критериям:**

- критерию соответствия сдвигоустойчивости материалов конструктивных слоев и грунта возникающим в них касательным напряжениям, отражающему условие ограничения накопления сдвиговых остаточных деформаций (формоизменения) под воздействием многократных кратковременных нагрузок;
- по критерию соответствия сопротивления материалов монолитных конструктивных слоев возникающим в них растягивающим напряжениям от подвижной многократной нагрузки, отражающему сопротивление этих слоев усталостным процессам, обуславливающим развитие микротрещин в монолитных слоях, потерю их сплошности и снижение распределяющей способности.

При недостаточной величине коэффициента прочности по любому критерию конструкцию уточняют.

Дорожные одежды переходного и низшего типов рассчитывают по упругому прогибу и по сдвигоустойчивости.

Коэффициенты прочности по этим критериям должны быть не менее значений, указанных в табл. 1 (табл. 3.1 [5]).

Таблица 1

**Требуемые минимальные коэффициенты прочности  
при заданных уровнях надежности для расчета дорожных  
одежд по различным критериям прочности**

Тип дорожной одежды		Капитальный										
Категория дороги		I		II		III		IV				
Предельный коэффициент разрушения $K_p^{np}$		0,05				0,10						
Заданная надежность $K_n$		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,9	0,95	0,9	0,85	0,8
Требуемый коэффициент прочности $K_{np}^{Tr}$ по критерию:	упругого прогиба	1,5	1,30	1,38	1,20	1,29	1,17	1,1	1,17	1,1	1,06	1,02
	сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90	0,87
Тип дорожной одежды		Облегченный										
Категория дороги		III		IV		V						
Предельный коэффициент разрушения $K_p^{np}$		0,15										
Заданная надежность $K_n$		0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,8	0,95	0,9	0,8	0,7



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

### 2.3. Расчетные параметры подвижной нагрузки

Капитальные типы дорожных одежд с применением органиче-

ских вяжущих следует проектировать на основных грузонапряженных дорогах промышленных предприятий, предназначенных для движения транспортных средств с нагрузками на ось до 100 кН (10 тс), а также на внутривыездных и карьерных дорогах для автомобилей особо большой грузоподъемности.

В качестве расчетной схемы нагружения конструкции колесом автомобиля принимается гибкий круговой штамп диаметром  $D$ , передающий равномерно распределенную нагрузку величиной  $p$ . Параметры расчетной нагрузки приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Расчетные параметры подвижной нагрузки

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на ось, кН	Нормативная статическая нагрузка на поверхность покрытия от колеса расчетного автомобиля $Q_{расч}$ , кН	Расчетные параметры нагрузки	
			$P$ , МПа	$D$ , см
A <sub>1</sub>	100	50	0,60	37/33

*Примечание.* В числителе – для движущегося колеса, в знаменателе – для неподвижного.

Величину  $N_p$ , ед/сут, приведенной интенсивности на последний год срока службы определяют по формуле

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

где  $n$  – 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. П.1.3 [5].

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

$$\sum = 1,7 N_p \frac{K_c}{q^{ca}} T_{p\text{одз}} k_n \quad (2)$$

где  $N_p$  – приведенная интенсивность на последний год срока службы, авт/сут;  $T_{p\text{одз}}$  – расчетное число расчетных дней в году, соответствующее

щих определенному состоянию деформируемости конструкции, определяемое в соответствии с табл. П.6.1 [5];  $k_n$  – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, определяемый по табл. 3.3 [5];  $K_c$  – коэффициент суммирования, определяемый по формуле (3).

$$K_c = \frac{q^{T_{cl}} - 1}{q - 1}, \quad (3)$$

где  $T_{cl}$  – расчетный срок службы по табл. П.6.2 [5];  $q$  – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам.

## 2.4. Назначение конструкции дорожной одежды

Конструкцию дорожной одежды назначают по типовому альбому [6] в зависимости от климатической зоны, минимального общего требуемого модуля упругости, типа местности по увлажнению и типа подстилающего грунта.

Величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции, МПа, вычисляют по эмпирической формуле

$$E_{min} = 57 + 68 \lg(\sum N_p / \alpha), \quad (4)$$

где  $\sum N_p$  – суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды, устанавливаемое по формуле (2);  $\alpha$  – эмпирический параметр, принимаемый равным для капитального типа дорожной одежды 7000.

Для дорог в V дорожно-климатической зоне требуемые модули, определенные по формуле (5), следует уменьшить на 15 %.

Независимо от результата, полученного по формуле (4), требуемый модуль упругости должен быть не менее указанного в табл. 3.4 [5].

Вид асфальтобетона, тип и марку асфальтобетонных смесей, а также соответствующую марку битума надлежит принимать по ГОСТ 9128 – 84, вид дегтебетона, тип и марку дегтебетонных смесей, соответствующую марку дегтя – по ГОСТ 25877 – 83.

Для покрытий дорог не следует предусматривать смеси: холодные асфальтобетонные – в I дорожно-климатической зоне; дегтебетонные – в I и V дорожно-климатических зонах.

Нижние слои двухслойного асфальтобетонного или дегтебе-

тонного покрытия следует предусматривать из пористого или высокопористого асфальтобетона, укладываемого в горячем и теплом состоянии, пористого дегтебетона, укладываемого в горячем состоянии, каменных материалов, обработанных органическими вяжущими.

Нижние слои дорожной одежды (основания, дополнительные слои оснований, выполняющие функции выравнивающих, дренирующих, морозозащитных, противозаиливающих слоев), а также покрытия укрепляемых частей обочин следует предусматривать, как правило, из местных материалов и отходов промышленности, при необходимости укрепляемых вяжущими.

## 2.5. Расчетные характеристики материалов и грунтов

Расчетные значения характеристик грунтов и материалов допускается принимать в соответствии с указаниями прил. 2 и 3 [5].

Значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, для расчета по допускаемому упругому прогибу необходимо принимать во всех климатических зонах при температуре +10°C по табл. П.3.2 [5].

При расчете дорожных одежд по условию сдвигоустойчивости значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, принимают соответствующими температурам, указанным в табл. 3.

Таблица 3

### Расчетные температуры

Дорожно-климатические зоны	I-II	III	IV	V
Расчетная температура, °C	+20	+30	+40	+50

Характеристики асфальтобетонов при расчете на растяжение при изгибе под действием кратковременных нагрузок принимаются по табл. П.3.1 [5].

Минимальные толщины слоев конструкции принимаются в соответствии с табл. 4.

По итогам определения расчетных характеристик материалов и грунтов заполняется сводная таблица (табл. 5).

Таблица 4

**Минимальные толщины материалов слоев дорожной одежды**

№ п/п	Материалы покрытий и других слоев дорожной одежды	Толщина слоя, см
1	Асфальтобетон или дегтебетон крупнозернистый	6 – 7
2	Асфальтобетон или дегтебетон мелкозернистый	3 – 5
3	Асфальтобетон или дегтебетон песчаный	3 – 4
4	Щебеночные (гравийные) материалы, обработанные органическими вяжущими	8
5	Щебень, обработанный органическим вяжущим по способу пропитки	8
6	Щебеночные и гравийные материалы, не обработанные вяжущими:  на песчаном основании	15
	на прочном основании (каменном или из укрепленного грунта)	8
7	Каменные материалы и грунты, обработанные органическими или неорганическими вяжущими	10

*Примечания.* 1. Большие толщины асфальтобетонных покрытий следует принимать для дорог I и II категорий, а меньшие – для дорог III и IV категорий.

2. Толщину конструктивного слоя во всех случаях следует принимать не менее чем 1,5 размера наиболее крупной фракции применяемого в слое минерального материала.

3. В случае укладки каменных материалов на глинистые и суглинистые грунты следует предусматривать прослойку толщиной не менее 10 см из песка, высевок, укрепленного грунта или других водостойчивых материалов.

Таблица 5

**Расчетные характеристики конструктивных слоев**

Материал слоя	Расчет по до- пускаемому упругому прогибу $E$ , МПа	Расчет по сдвигоустойчивости $E$ , МПа	Расчет на растяжение при изгибе			
			$E$ , МПа	$R_o$ , МПа	$\alpha$	$m$

**2.6. Расчет конструкции дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу**

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

$$E_{об} \geq E_{min} K_{np}^{mp}, \quad (5)$$

где  $E_{об}$  – общий расчетный модуль упругости конструкции, МПа;  $E_{min}$  – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа;  $K_{np}^{mp}$  – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности по табл. 3.1 [5].

Общий расчетный модуль упругости конструкции определяют с помощью номограммы рис. 3.1 [5], построенной по решению теории упругости для модели многослойной среды.

Приведение многослойной конструкции к эквивалентной однослойной ведут послойно, начиная с подстилающего грунта.

Расчет по допустимому упругому прогибу (по требуемому модулю деформации) ведут в следующей последовательности, представленной на рис. 1:

1. Определяют требуемый минимальный общий модуль конструкции по формуле (5).
2. Назначают модули и предварительно толщины слоев конструкции (кроме толщины основания).
3. Выполняя расчет конструкции сверху вниз, определяют с помощью номограммы рис. 3.1 [5] требуемые модули на поверхности слоев покрытия.

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

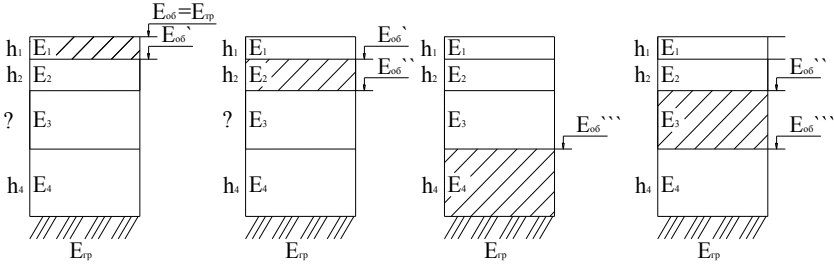


Рис. 1. Последовательность расчета дорожной одежды

### 2.7. Расчет по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев

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:

$$T \leq \frac{T_{np}}{K_{np}^{mp}}, \quad (6)$$

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

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  $h_e$  принимают равной сумме

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

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле

$$E_e = \left( \sum_{i=1}^n E_i h_i \right) : \left( \sum_{i=1}^n h_i \right), \quad (7)$$

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. 3.2 [5] нижнему слою двухслойной модели условно присваивают обычные характеристики песчаного слоя ( $c_n, \varphi_n$ ), а модуль упругости принимают равным общему модулю на поверхности песчаного слоя, определяемому по расчету на упругий прогиб. 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 (7).

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

$$T = \tau \cdot p, \quad (8)$$

где  $\tau$  – удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки, определяемое с помощью номограмм рис. 3.2 и рис. 3.3 [5];  $p$  – расчетное давление от колеса на покрытие.

*Примечание.* При пользовании номограммой для определения  $\tau$  величину  $\varphi$  принимают для случая воздействия динамической нагрузки (с учетом числа приложений).

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



$$T_{np} = c_N(k_\delta + 0,1\gamma_{cp}z_{on}tg\varphi_{cm}), \quad (9)$$

где  $c_N$  – сцепление в грунте земляного полотна (или в промежуточном песчаном слое), МПа, принимаемое с учетом повторности нагрузки по табл. П.2.4 и П.2.6 [5];  $\gamma_{cp}$  – средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя, кг/см<sup>3</sup> (удельный вес материалов слоев можно принимать по табл. П.5.1 [5]);  $z_{on}$  – глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигоустойчивость, от верха конструкции, см;  $\varphi_{cm}$  – расчетная величина угла внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки, определяемая по табл. П.2.4 и П.2.6 [5].  $k_\delta$  – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания. При устройстве нижнего слоя из укрепленных материалов, а также при укладке на границе “основание - песчаный слой” разделяющей геотекстильной прослойки, следует принимать значения  $k_\delta$  равным:

- 4,5 – при использовании в песчаном слое крупного песка;
- 4,0 – при использовании в песчаном слое песка средней крупности;
- 3,0 – при использовании в песчаном слое мелкого песка;
- 1,0 – во всех остальных случаях.

Расчет дорожной одежды по сопротивлению сдвигу в грунте земляного полотна, а также в песчаных материалах промежуточных слоев дорожных одежд ведут в следующей последовательности, согласно рис. 2:

а) назначают расчетные модули упругости для слоев из асфальтобетона, соответствующие максимально возможным температурам в ранний весенний (расчетный) период в соответствии с указаниями табл. 3; назначают с учетом расчетной влажности и общего числа воздействия нагрузки расчетные прочностные характеристики  $\varphi$  и  $c$  грунта земляного полотна и песка промежуточного слоя одежды (если таковой имеется) с учетом требований п. 3.36 [5]. Остальные расчетные характеристики грунта и материалов остаются теми же, что и в расчете по упругому прогибу;

б) по рис. 3.2 или рис. 3.3 [5] определяют активные напряжения сдвига  $\tau$  от единичной временной нагрузки. Для этого приводят многослойную конструкцию к двухслойным моделям;

в) вычисляют расчетное напряжение сдвига в грунте земляного полотна или в песчаном слое одежды;

- г) вычисляют предельное напряжение сдвига;
- д) проверяют выполнение условия прочности (с учетом требуемой надежности);
- е) при необходимости, изменяя толщины конструктивных слоев, подбирают конструкцию, удовлетворяющую условию (6).

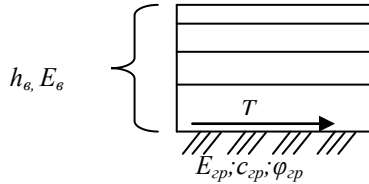


Рис. 2. Схема приведения конструкции к двухслойной модели

## 2.8. Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе

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

$$\sigma < \frac{R_N}{K_{np}^{mp}}, \quad (10)$$

где  $K_{np}^{mp}$  – требуемый коэффициент прочности с учетом заданного уровня надежности;  $R_N$  – прочность материала слоя на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений;  $\sigma_r$  – наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, устанавливаемое расчетом.

Наибольшее растягивающее напряжение  $\sigma_r$  при изгибе в монолитном слое определяют с помощью номограммы рис. 3.4 [5], приводя реальную конструкцию к двухслойной модели.

К верхнему слою модели относят все асфальтобетонные слои. Толщину верхнего слоя модели  $h_g$  принимают равной сумме толщин асфальтобетонных слоев ( $\sum h_i$ ). Значение модуля упругости верхнего

слоя модели устанавливают как средневзвешенное для всего пакета асфальтобетонных слоев по формуле (7).

Нижним (полубесконечным) слоем модели служит часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, включая грунт рабочего слоя земляного полотна. Модуль упругости нижнего слоя модели определяют путем приведения слоистой системы к эквивалентной по жесткости с помощью номограммы рис. 3.1 [5] (модуль упругости на поверхности слоя под пакетом асфальтобетонных слоев берут из расчета на упругий прогиб).

При использовании номограммы рис. 3.4 [5] расчетное растягивающее напряжение определяют по формуле

$$\sigma = \sigma \cdot p \cdot \kappa_g, \quad (11)$$

где  $\sigma$  – растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчетных диаметрах площадки, передающей нагрузку, определяемое по номограмме рис. 3.4 [5];  $p$  – расчетное давление;  $\kappa_g$  – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном (принимают равным 0,85; при расчете на однобаллонное колесо  $\kappa_g = 1,00$ ).

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

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

где  $R_o$  – нормативное значение предельного сопротивления растяжению (прочность) при изгибе при расчетной низкой весенней температуре при однократном приложении нагрузки, принимаемое по табл. П.3.1 [5] для нижнего слоя пакета асфальтобетонных слоев;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки;  $k_2$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодноклиматических факторов, определяемый по табл. 3.6 [5];  $v_R$  – коэффициент вариации прочности на растяжение по табл. П.4.1 [5];  $t$  – коэффициент нормативного отклонения по табл. П.4.2 [5].

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

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

где  $\alpha$  – 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 табл. П.3.1 [5];  $\Sigma N_p$  – расчетное суммарное число приложений расчетной нагрузки за срок службы монолитного покрытия, определяемое по формуле (2);  $m$  – показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя, определяемый в соответствии с табл. П.3.1 [5].

Расчеты на усталостную прочность выполняют в следующей последовательности, согласно рис. 3:

а) приводят конструкцию к двухслойной модели и определяют отношения  $\frac{h_e}{D}$ ,  $\frac{E_a}{E_n}$ ;

б) по полученным параметрам по номограмме рис. 3.4 [5] находят значение  $\sigma$  и вычисляют расчетное растягивающее напряжение;

в) вычисляют предельное растягивающее напряжение. В пакете асфальтобетонных слоев за предельное растягивающее напряжение  $R_N$  принимают значение, отвечающее материалу нижнего слоя асфальтобетонного пакета;

г) проверяют условие (10) и при необходимости корректируют конструкцию.

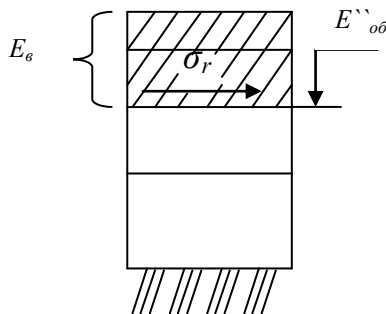


Рис. 3. Схема к расчету изгибающих напряжений в пакете асфальтобетонных слоев

### 3. Проверка дорожной конструкции на морозостойчивость

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

С этой целью применяют различные специальные мероприятия:

- использование непучинистых или слабопучинистых грунтов для сооружения верхней части земляного полотна, находящегося в зоне промерзания;

- осушение рабочего слоя земляного полотна путем устройства дренажа (для увеличения расстояния от низа дорожной одежды до уровня подземных вод) или устройства гидроизолирующих или капилляропрерывающих прослоек (для перехода от 2-й или 3-й схемы увлажнения рабочего слоя земляного полотна к 1-й схеме);

- устройство морозозащитного слоя из непучинистых минеральных материалов, в том числе укрепленных малыми дозами минеральных или органических вяжущих;

- устройство теплоизолирующих слоев, снижающих глубину или полностью исключающих промерзание грунта под дорожной одеждой;

- устройство основания дорожной одежды из монолитных материалов (типа тощего бетона или других зернистых материалов, обработанных минеральным или органическим вяжущим).

Конструкцию считают морозостойчивой, если соблюдено условие

$$l_{\text{пуч}} \leq l_{\text{доп}}, \quad (14)$$

где  $l_{\text{пуч}}$  – расчетное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна;  $l_{\text{доп}}$  – допускаемое для данной конструкции пучение грунта, определяемое по табл. 4.3 [5].

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

$$l_{\text{пуч}} = l_{\text{пуч ср}} K_{\text{УГВ}} K_{\text{пл}} K_{\text{гр}} K_{\text{нагр}} K_{\text{вл}}, \quad (15)$$

где  $l_{\text{пуч ср}}$  – величина морозного пучения при усредненных условиях, определяемая по рис. 4.3 [5] в зависимости от толщины дорожной одежды (включая дополнительные слои основания), группы грунта по

степени пучинистости и глубины промерзания  $z_{np}$ ; классификация грунтов по степени пучинистости представлена в табл. 4.1 и 4.2 [5];

$K_{yTB}$  – коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод ( $H_y$ ), определяемый по рис. 4.1 [5]; при отсутствии влияния грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод следует принимать: для супеси тяжелой и пылеватой и суглинка  $K_{yTB} = 0,53$ ; для песка и супеси легкой и крупной  $K_{yTB} = 0,43$ ;

$K_{пл}$  – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя, определяемый по табл. 4.4 [5];

$K_{cp}$  – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки, принимаемый по табл. 4.5 [5];

$K_{нагр}$  – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое и зависящий от глубины промерзания, определяемый по рис. 4.2 [5];

$K_{вл}$  – коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта, принимаемый по табл. 4.6 [5].

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

$$z_{np} = z_{np(cp)} \cdot 1,38, \quad (16)$$

где  $z_{np(cp)}$  – средняя глубина промерзания для данного района, устанавливаемая при помощи карты изолиний рис. 4.4 [5].

При глубине промерзания дорожной конструкции  $z_{np}$  до 2 м  $l_{нуч\ cp}$  устанавливают по графикам рис. 4.3 [5]. При  $z_{np}$  от 2,0 до 3,0 м  $l_{нуч\ cp}$  вычисляют по формуле

$$l_{нуч\ cp} = l_{нуч\ cp\ 2,0} \cdot [a + b(z_{np} - c)], \quad (17)$$

где  $l_{нуч\ cp\ 2,0}$  – величина морозного пучения при  $z_{np} = 2,0$  м;

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

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

Если условие (14) не выполняется, производят уточненный расчет толщины морозозащитного слоя ( $h_{мз}$ ) по термическому сопротивлению конструкций в соответствии с пп.4.7 - 4.13 [5].

## 4. Расчет жесткой дорожной одежды

### 4.1. Общие положения

К жестким дорожным одеждам относят цементобетонные и железобетонные покрытия и основания, которые хорошо сопротивляются растягивающим напряжениям, возникающим при их прогибах под нагрузкой от автомобилей. Жесткие дорожные одежды могут быть:

- цементобетонными монолитными на различных видах основания;
- асфальтобетонными на основаниях из цементобетона;
- сборными из предварительно напряженного железобетона, железобетона, армобетона на различных видах основания [1,2].

В жестких дорожных одеждах различают следующие конструктивные слои [рис. 2.1]:

**покрытие** – верхняя часть одежды, воспринимающая усилия от колес автомобилей и подвергающаяся непосредственному воздействию атмосферных факторов;

**основание** – часть одежды, обеспечивающая совместно с покрытием перераспределение и снижение давления на нижележащие дополнительные слои или грунт земляного полотна;

**дополнительные слои основания** – слои между основанием и подстилающим грунтом, выполняют морозозащитную, дренажную и теплоизолирующую функции.

При необходимости между покрытием и основанием укладывают **выравнивающий слой** из обработанных вяжущими зернистых материалов (песка), который в качестве конструктивного слоя одежды не рассматривается и в расчетах не учитывается. Выравнивающий слой предназначен для устранения неровностей основания и обеспечения возможности перемещения плит покрытия при изменении температуры. Если неровности основания не превышают 1 см, то допускается выравнивающий слой не устраивать, а применять только слой, прерывающий сцепление плит с основанием и служащий изолятором против высыхания бетона в раннем возрасте и появления усадочных трещин.

В покрытии устраивают **продольные и поперечные швы (сжатия и расширения)**, делящие покрытие на плиты определенной длины и ширины. В конце рабочей смены или при длительных перерывах в бетонировании (более 2–4 часов) устраивают рабочие швы по типу

швов сжатия и при необходимости швы расширения. Швы сжатия устраивают для предохранения покрытия от трещинообразования в свежееуложенном бетоне. В швах предусматривают штыревые соединения. Пазы швов заполняют герметизирующим материалом. *Швы сжатия в свежееуложенном цементобетонном покрытии назначают, чтобы исключить усадку бетона при твердении. Швы расширения в цементобетонных покрытиях назначают, чтобы исключить расширение бетона при нагревании.*

#### **4.2. Назначение конструкции жесткой дорожной одежды**

Конструкцию дорожной одежды и толщину слоя покрытия назначают аналогично конструкции нежесткой дорожной одежды по табл. 1 приложения 2 [6], в зависимости от нагрузки на ось расчетного автомобиля, класса бетона по прочности и типа подстилающего грунта.

#### **4.3. Расчет дренажного слоя**

При проектировании дренажного слоя, необходимо, помимо осушения, учитывать необходимость обеспечения сдвигоустойчивости самого зернистого материала и прочности всей дорожной конструкции. Дренажную конструкцию нужно проектировать с учетом объема притока воды, поступающей в основание дорожной одежды в расчетный период, фильтрационной способности материала дренажного слоя и конструкции земляного полотна. Расчетные значения притока воды в основание определяются по табл 3[6], тип расчетной системы осушения по табл. [6].

Система осушения дренажного слоя принимается в зависимости от схемы увлажнения земляного полотна и расчетного притока воды.

В зависимости от конкретных условий дренажная конструкция может быть рассчитана на один из трех вариантов работы:

- работа на осушение;
- работа на поглощение;
- работа на осушение с периодом запаздывания отвода воды.



Дренирующий слой, работающий по принципу *осушения*, необходимо устраивать из песчаных грунтов или высокопроницаемой скелетной смеси (щебня или гравия) открытого типа (с незаполненными пустотами), отвечающих определенным требованиям по водопроницаемости, и укладывать этот слой под дорожной одеждой на всю ее ширину. При этом необходимо обеспечить выходы дренирующего слоя на откос.

Дренирующий слой устраивают также с дренажными трубами для сбора и быстрого отвода воды за пределы земляного полотна. Следует предусматривать противозаиливающую защиту дрен и дренирующих слоев, а также недопущение замерзания воды в выпусках труб. Для устройства дренирующего слоя, работающего по принципу осушения, следует применять материалы с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сут. Материал с коэффициентом фильтрации 1-2 м/сут целесообразно применять на участках, где он одновременно выполняет дренирующие и морозозащитные функции.

При устройстве дренирующих слоев, работающих по принципу *поглощения*, требуется устраивать более мощные слои из песчаного грунта и принимать в расчет на прочность дорожной одежды значения прочностных характеристик песчаного грунта с учетом более продолжительного периода его нахождения в неблагоприятном расчетном состоянии. Для устройства дренирующих слоев систем осушения дорожных одежд применяются зернистые материалы, обладающие физико-механическими свойствами не ниже указанных в таблице 6 [6].

Требуемая толщина дренирующего слоя определяется по номограммам рис. 3-7 [6], в зависимости от значений коэффициентов фильтрации материалов, использованных для его сооружения. Во всех случаях толщина дренирующего слоя принимается не менее 0,2 м.

Длина пути фильтрации  $L$  в дренирующем слое :

$$L = BK_{нф} \quad (18)$$

где  $B$  – половина ширины земляного полотна по его границе с дренирующим слоем при системе осушения с индексом «Б» (либо ширина проезжей части при односкатном профиле проезжей части и половина ширины при двухскатном профиле для систем осушения с индексами «В», «Г», «Д»);

$K_{нф}$  – коэффициент удлинения пути фильтрации принимаемый по табл. 8 [6].

#### 4.4. Определение характеристик арматуры

В зависимости от ширины полосы укладки и толщины слоя покрытия определяется марка каркасов швов расширения, швов сжатия и, при необходимости, марка сетки армирования краевых участков по таблицам 31-33 [6].

По таблице 30 [6] определяется количество швов расширения и сжатия, а также сетки армирования.

По [7] определяется масса каждого конструктивного элемента (КШРБ, КШРС, СКБ), рассчитывается общая масса этих элементов на 1 км дороги по следующим формулам.

$$M = n \cdot m \cdot K, \quad (19)$$

где  $M$  – общая масса данных конструктивных элементов на 1 км дороги, кг;  $n$  – количество этих элементов в плите покрытия;  $m$  – масса одного конструктивного элемента, кг;  $K$  – коэффициент, который находится по формуле (20):

$$K = \frac{1000}{L}, \quad (20)$$

где  $L$  – длина плиты покрытия, м.

### ПРИМЕР РАСЧЕТА НЕЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Требуется спроектировать дорожную одежду при следующих исходных данных:

- дорога располагается в III дорожно-климатической зоне в 1-й подзоне, в Курской области;
- категория автомобильной дороги – IIIв;
- заданный срок службы дорожной одежды  $T_{cl} = 15$  лет;
- заданная надежность  $K_n = 0,95$ ;
- коэффициент ежегодного прироста интенсивности движения  $q = 1,05$ ;
- состав грузового потока, авт/сут:
 

- ЗИЛ-130.....	950
- МАЗ-500А.....	200

- КамАЗ 5511.....410

- КрАЗ.....100

- грунт рабочего слоя земляного полотна - суглинок легкий;

- конструкция дорожной одежды, из типового альбома:

1) покрытие – асфальтобетон плотный из горячей мелкозернистой смеси типа Б I марки на битуме БНД 60/90;

2) верхний слой несущего основания – асфальтобетон пористый из горячей крупнозернистой смеси I марки на битуме БНД 60/90;

3) несущее основание – горячий черный щебень;

4) нижний слой несущего основания - щебень фракционированный с заклинкой фракционированным мелким щебнем легкоуплотняемый;

5) дополнительный слой основания – песок крупный;

- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – 1.

**1. Устанавливаем расчетные параметры подвижной нагрузки.** По составу транспортного потока устанавливаем группу расчетной нагрузки: статическая нагрузка на поверхность покрытия от колеса любого автомобиля из заданного потока не превышает 50 кН, что соответствует группе расчетной нагрузки  $A_1$ .

В зависимости от нагрузки среднее удельное давление колеса на покрытие  $p = 0,6$  МПа и расчетный диаметр следа колеса автомобиля  $D = 37$  см.

Интенсивность на срок службы дорожной одежды определяется по формуле, авт/сут

$$N_m^{sym} = \frac{\lambda \cdot t \cdot c_{ym}}{q^{\lambda}} = 1300 \text{ авт/сут}$$

где  $q$  – коэффициент прироста интенсивности движения.

Находим расчетную приведенную интенсивность воздействия расчетной нагрузки на одну полосу проезжей части разных марок автомобилей по формуле (1)

$$N_p = 1300 \cdot (0,57 \cdot 0,2 + 0,12 \cdot 0,2 + 0,25 \cdot 0,7 + 0,06 \cdot 1,2) = 538 \text{ авт/сут.}$$

Рассчитываем суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды по формуле (2), предварительно определив коэффициент суммирования по формуле (3)

$$K_c = \frac{1 + 0,2^{15}}{1,05} = \dots$$

Значение  $T_{p0z}$  принимаем по рис. П.6.1 и табл. П.6.1 [4];  $T_{p0z} = 145$  расчетных дней. Значение коэффициента  $k_n$  принимаем по табл. 3.3 [4];  $k_n = 1,49$ .

$$\sum N_p = 1,7 \cdot 538 \cdot \frac{21,58}{1,05} \cdot 145 \cdot 1,31 = 779661, \text{ авт/сут}$$

Значение коэффициента прочности при заданном коэффициенте надежности  $K_n = 0,95$  принимаем по табл. 3.1 [4];  $K_{np} = 1,17$  для расчета конструкции по допускаемому упругому прогибу и  $K_{np} = 1,00$  – для расчета по критерию сдвигоустойчивости и растяжения при изгибе.

**2. Определяем расчетные характеристики материалов конструктивных слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна для расчета по трем критериям прочности.**

Расчетная влажность грунта для конструкций толщиной до 0,75 м принимается равной среднему многолетнему значению относительной (в долях от границы текучести) влажности грунта, наблюдавшееся в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна, отвечающего нормам [3] по возвышению над источниками увлажнения, на дорогах с усовершенствованными покрытиями и традиционными основаниями дорожных одежд (щебень, гравий и т.п.)  $\bar{W}_{таб}$  и определяется по табл. П.2.1 [4]

$$W_p = \bar{W}_{таб} = 0,60 W_m$$

Для расчета конструкции на сдвигоустойчивость устанавливаем нормативные значения сдвиговых характеристик ( $c$  и  $\varphi$ ) малосвязных материалов (грунт рабочего слоя земляного полотна и песок): по табл. П.2.4 и П.2.6 [4] зависимости от  $W_p = 0,60 W_m$  и  $\sum = 779661$ .

Для суглинка легкого:  $c_{zp} = 0,012$  МПа;  $\varphi_{zp} = 9^\circ$ ;  $\varphi_{cm} = 22^\circ$  (при  $\sum = 1$  – для определения предельного активного напряжения сдвига  $T_{np}$ ), для песка крупного с содержанием пылевато-глинистой фракции 5% –  $c_n = 0,003$  МПа,  $\varphi_n = 28,9^\circ$ ,  $\varphi_{cm} = 34^\circ$ .

По  $W_p$ , по таблице П.2.5 [5] для грунта определяется значение модуля упругости  $E_{zp} = 72$  МПа.

Значения модулей упругости конструктивных слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна, а также прочностные и деформационные характеристики для расчета на сопротивление монолитных

слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе приведены в табл. 6.

Таблица 6

### Расчетные характеристики конструктивных слоев

Материал слоя	Расчет по допускаемому упругому прогибу, $E$ , МПа	Расчет по сдвигоустойчивости, $E$ , МПа	Расчет на растяжение при изгибе			
			$E$ , МПа	$R_o$ , МПа	$\alpha$	$m$
1. Асфальтобетон плотный типа Б на БНД 60/90	3200	1100	4500	9,8	5,9	5,5
2. Асфальтобетон пористый на БНД 90/130	2000	700	2800	8,0	7,1	4,3
3. Щебень с заклиной мелким щебнем	450	450	450	-	-	-
4. Песок крупный	130	130	130	-	-	-
5. Грунт земляного полотна – суглинок легкий $W_p = 0,60W_m$	72	72	72	-	-	-

**3. Рассчитываем дорожную одежду по допускаемому упругому прогибу.** Величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции, МПа, вычисляют по эмпирической формуле (4)

$$E_{\text{тин}} = 57 + 68 \lg(779661/7000) = 196 \text{ МПа.}$$

Полученное значение  $E_{\text{тин}}$  меньше табличного значения требуемого модуля упругости (табл. 3.4 [5]), равного 220 МПа, поэтому принимаем  $E_{\text{тин}} = 230 \text{ МПа}$ .

Расчет производится послойно в следующей последовательности:

Из табл. П.1 берем необходимые модули упругости материалов слоев для расчета по допускаемому упругому прогибу:  $E_1 = 3200 \text{ МПа}$ ,  $E_2 = 1200 \text{ МПа}$ ,  $E_3 = 450 \text{ МПа}$ ,  $E_4 = 130 \text{ МПа}$ ,  $E_{\text{сп}} = 72 \text{ МПа}$ . Задаемся толщинами конструктивных слоев с учетом минимальной толщи-

ны дренирующего слоя, пользуясь табл. 4 из типового альбома [6]:  $h_1 = 5$  см,  $h_2 = 7$  см,  $h_3 = 20$  см,  $h_4 = 36$ ,  $h_5 = 30$  см.

Задачей расчета является определение общего модуля упругости на поверхности конструкции с заданными параметрами расчетом «снизу вверх» и проверка условия (4).

По номограмме рис. 3.1 [5] по вычисленным отношениям:

$h_5/D = 30/37 = 0,81$  (по оси абсцисс) и  $E_{ср.}/E_5 = 72/130 = 0,55$  (по оси ординат) определяется значение  $E''''_{общ}/E_5 = 0,77$  (на кривых) откуда  $E''''_{общ} = E_5 \cdot 0,77 = 130 \cdot 0,77 = 100,1$  МПа – модуль упругости на поверхности пятого слоя.

Аналогично по отношениям  $h_4/D = 35/37 = 0,97$  и  $E''''_{общ}/E_4 = 100,1/450 = 0,22$  определяется  $E''''_{общ}/E_4 = 0,51$ .

$E''''_{общ} = 0,51 \cdot 450 = 229,5$  МПа – модуль упругости на поверхности четвертого слоя

По отношениям  $h_3/D = 20/37 = 0,54$  и  $E''''_{общ}/E_3 = 229,5/600 = 0,38$  определяется  $E''''_{общ}/E_3 = 0,52$ .

$E''''_{общ} = 0,52 \cdot 600 = 312$  МПа – модуль упругости на поверхности третьего слоя. По отношениям  $h_2/D = 7/37 = 0,19$  и  $E''''_{общ}/E_2 = 312/1200 = 0,26$  определяется  $E''''_{общ}/E_2 = 0,22$ .

$E''''_{общ} = 0,22 \cdot 1200 = 264$  МПа – модуль упругости на поверхности второго слоя.

По отношениям  $h_1/D = 5/37 = 0,14$  и  $E''''_{общ}/E_1 = 264/3200 = 0,08$  определяется значение  $E''''_{общ}/E_1 = 0,14$ , откуда  $E''''_{общ} = 0,14 \cdot 3200 = 448$  МПа – модуль упругости на поверхности конструкции.

Проверяем условие (4):  $448/230 = 1,9 > K_{пр}^{mp}$  - условие выполняется.

#### 4. Рассчитываем дорожную одежду по сопротивлению сдвигу.

**А. В грунте земляного полотна:** приводим многослойную конструкцию к двухслойной модели, считая толщину верхнего слоя равной суммарной толщине конструктивных слоев дорожной одежды до грунтового основания, а средний модуль упругости  $E_{ср}$  определяем по формуле (7), при этом модули упругости принимаем по соответствующей колонке таблицы расчетных характеристик конструктивных слоев:

$$\left( \sum \right) = 5+7+20+36+30 = 98 \text{ см.}$$

$$E_{ср} = (5 \cdot 1100 + 7 \cdot 700 + 20 \cdot 600 + 36 \cdot 450 + 30 \cdot 130) / 98 = 434 \text{ МПа}$$

По номограмме рис. 3.2 [5] определяем величину активного сдвига от временной (единичной) нагрузки в зависимости от отношений  $E_{cp}/E_{zp} = 434/72 = 6,02$  (на кривых);  $\left( \sum \right) / D = 98/37 = 2,65$  (по оси абсцисс) и  $\varphi_{zp} = 9^\circ$  (на прямых):  $\tau_{..} = 0,013$ .

По найденному значению  $\tau_{..}$  по формуле (8) вычисляем  $T$ :

$$T = 0,013 \cdot 0,6 = 0,0078 \text{ МПа}$$

Предельное активное напряжение сдвига  $T_{np}$  в грунте рабочего слоя определяем по формуле (9)

$$T_{np} = 0,005 + 0,1 \cdot 0,0018 \cdot 98 \cdot \text{tg } 22^\circ = 0,0188 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие (6):

$$0,0188/0,0162 = 0,85 \geq K_{np}^{mp} = 1,0 - \text{условие выполняется, сдвиг}$$

в подстилающем грунте земляного полотна не возникнет.

**Б. В промежуточном слое из слабосвязанных материалов (в песке):**

расчет аналогичен предыдущему. Многослойная конструкция приводится к двухслойной модели, считая толщину верхнего слоя, равной суммарной толщине слоев, расположенных выше песчаного:

$$\left( \sum \right) = 5+7+20+36 = 68 \text{ см.}$$

Средний модуль упругости для верхнего слоя:

$$E_{cp} = (5 \cdot 1100 + 7 \cdot 700 + 20 \cdot 600 + 36 \cdot 450) / 68 = 567 \text{ МПа}$$

Рассчитываемый слой условно служит полупространством из слабосвязанного материала с присущими ему расчетными характеристиками  $E_n = E''''''_{общ}$  (из расчета на упругий прогиб) = 100,1 МПа;  $c_n = 0,003$ ;  $\varphi_n = 28,9^\circ$ .

По номограмме рисунка 3.2 [4] по отношениям  $E_{cp}/E_n = 567/100,1 = 8,9$ ,  $\left( \sum \right) / D = 68/37 = 1,84$  и  $\varphi_n = 28,9^\circ$  определяем:  $\tau_{..} = 0,024$ .

По найденному значению  $\tau_{..}$  по формуле (8) вычисляем  $T$ :

$$T = 0,024 \cdot 0,6 = 0,014$$

Предельное активное напряжение сдвига  $T_{np}$  в песчаном слое:

$$T_{np} = 0,003 \cdot 1,0 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 68 \cdot \operatorname{tg} 34^\circ = 0,0145 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие (6):

$0,0145/0,014 = 0,03 < K_{np}^{mp} = 1,0$  – условие выполняется, сдвиг в конструкции не возникнет.

$$T_{np} = 0,003 \cdot 4,5 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 35 \cdot \operatorname{tg} 34^\circ = 0,018 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие (6):

$0,018/0,017 = 1,06 > K_{np}^{mp} = 1,0$  - условие выполняется, сдвиг в песчаном слое под действием нагрузок не возникает.

**5. Рассчитываем конструкцию на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.** Приводим конструкцию к двухслойной модели и определяем

отношения  $\frac{h_e}{D} = \frac{5 + \prime}{37} = \frac{12}{37} = 0,324$ ;

$$E_e = \frac{5 \cdot 4500 + \prime \cdot 2800}{5 + \prime} = 3508 \text{ МПа; } E_n = E''_{\text{общ}} = 229,5 \text{ МПа}$$

(из расчета на упругий прогиб исправленной конструкции),

$$\frac{E_e}{E_n} = \frac{3508}{229,5} = 15,3;$$

По полученным параметрам по номограмме рис. 3.4 [4] находим значение  $\sigma$  :  $\sigma = 1,90 \text{ МПа.}$

Вычисляем расчетное растягивающее напряжение по формуле (11):

$$\sigma = 2,1 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 0,9 \text{ МПа.}$$

Рассчитываем предельное растягивающее напряжение по формуле (12), предварительно определив по формуле (13) коэффициент  $k_1$ , отражающий влияние на прочность усталостных процессов. В пакете асфальтобетонных слоев за предельное растягивающее напряжение  $R_N$  принимаем значение, отвечающее материалу нижнего слоя асфальтобетонного пакета - асфальтобетон пористый из горячей крупнозернистой смеси I марки на битуме БНД 90/130.

$$k_1 = \frac{5,9}{\sqrt[0,5]{779661}} = 0,5$$

$$R_N = 8,0 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,71) = 2,65 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие (10):



$2,65/0,9 = 2,95 > K_{np}^{mp} = 1,00$  – условие выполняется.

**6. Проверяем морозоустойчивость дорожной одежды и земляного полотна,** поскольку грунт земляного полотна (суглинок легкий) является пучинистым (III группа по степени пучинистости).

При проверке на морозоустойчивость величину возможного морозного пучения находим по формуле (15), предварительно определив по формуле (16) величину  $z_{np}$ :

$$z_{np} = 120 \cdot 1,38 = 165,6 \text{ см.}$$

Величина  $l_{пуч\ ср}$  в заданных условиях определяется по рис. 4.3 [4], поскольку  $z_{np} < 2,0$  м.

$$l_{пуч} = 3 \cdot 0,53 \cdot 0,8 \cdot 1,3 \cdot 0,97 \cdot 1,0 = 1,6 \text{ см}$$

Согласно п. 4.7 [5] величина морозного пучения для конструкции со сроком службы более 10 лет не должна превышать 80% от требуемого значения морозного пучения. Допустимое зимнее вспучивание покрытия по табл. 4.3 [5] равно 4 см. Проверяем условие (14) с учетом данного требования:

$1,6 < 4 \cdot 0,8 = 3,2$ , т.е.  $l_{пуч} < 0,8 \cdot l_{доп}$  – конструкция морозоустойчива.

Окончательно запроектированная конструкция выглядит следующим образом:

- 1) покрытие – асфальтобетон плотный из горячей мелкозернистой смеси типа Б I марки на битуме БНД 90/130 – 5 см;
- 2) верхний слой несущего основания – асфальтобетон пористый из горячей крупнозернистой смеси I марки на битуме БНД 90/130 – 7 см;
- 3) несущее основание – горячий черный щебень;
- 4) нижний слой несущего основания - щебень фракционированный с заклинкой фракционированным мелким щебнем легкоуплотняемый;
- 5) дополнительный слой основания – песок крупный.

## ПРИМЕР РАСЧЕТА ЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Требуется рассчитать дорожную одежду для следующих исходных данных:

- дорога располагается во III дорожно-климатической зоне в 1-й подзоне, в Курской области;
  - категория автомобильной дороги – Шв;
  - класс бетона 4,6;
  - тип поперечного профиля – бордюрный;
  - расчетный объем перевозок, млн т в год – 80 млн т;
  - расчетный автомобиль – БезА3 - 548;
  - грунт рабочего слоя земляного полотна – суглинок легкий;
  - конструкция дорожной одежды – из типового альбома:
    - 1) покрытие – монолитный цементобетон заданной марки;
    - 2) выравнивающий слой – песок, обработанный органическим вяжущим;
    - 3) слой несущего основания – щебень фракционированный с заклинкой фракционированным мелким щебнем легкоуплотняемый;
    - 4) дополнительный слой основания – песок крупный.
- Требуется рассчитать конструкцию дорожной одежды на полосу груженого и порожнего направления.

**Выбор схемы устройства покрытия автомобильной дороги.**

В зависимости от исходных данных: расчетного объема перевозок 80 млн т/год и расчетного автомобиля БелАЗ - 548, рассчитываем ширину полосы движения по формуле

$$B = b + \Delta, \quad (21)$$

где  $b$  – ширина расчетного автомобиля БелАЗ - 548 (3787 мм),  $\Delta$  – минимальный запас ширины на безопасное прохождение автомобиля.

$$B = 3787 + 500 = 4287 \text{ мм.}$$

Полученное значение округляем до 0,5 м в большую сторону.

Получаем ширину полосы движения, равную 4500 мм = 4,5 м.

Выбираем схему устройства по таблице 30 [7].

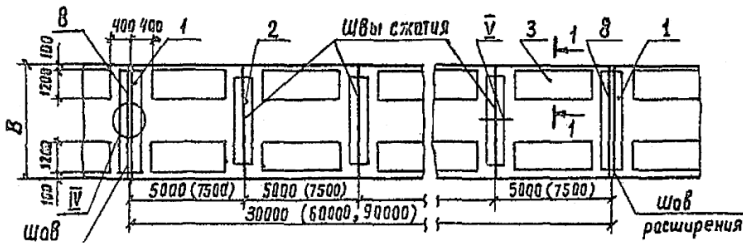


Рис. 4. Схема устройства покрытия дорожной одежды

### **1. Назначение толщины конструкции дорожной одежды:**

Исходя из нагрузки на ось расчетного автомобиля, класса бетона по прочности и типа подстилающего грунта, по таблице 1 приложения 2 [6] определяем толщину слоя покрытия на:

- полосе груженого направления – 40 см;
- полосе порожнего направления – 33 см.

В зависимости от материалов слоев основания назначаются их толщины, но не менее минимальных. Для выравнивающего слоя – песка, обработанного органическим вяжущим – 3 см; для щебня фракционированного с заклинкой фракционированным мелким щебнем легкоуплотняемого – 19 см. Толщины слоев одинаковы для полос груженого и порожнего направления.

### **2. Расчет дренарующего слоя:**

Расчетное значение притока воды в основании определяется по таблице 3 [6] за сутки  $q = 2,1 \text{ л/м}^2$ .

Для устройства дренарующего слоя принимаем песок средней крупности с коэффициентом фильтрации 8 м/сут, высотой капиллярного поднятия 0,25 м, пористостью 0,28 и влажностью 18% ( по таблицам 6-7 [6]).

Тип расчетной схемы осушения определяется по таблице 5 [6], зависимости от климатических и грунтово-гидрологических условий проектируемого объекта, для глинистого грунта и дренарующего слоя из песка с коэффициентом фильтрации 6 и более м/сутки принята схема «Г».

Определим длину пути фильтрации по формуле (18):

$$L = B/2 = 4500/2 = 2250 \text{ мм.}$$

В зависимости от этих данных требуемая толщина дренарующего слоя принимается по номограммам 3-7 [6], но во всех случаях не менее 0,2 м. По номограмме 7 [6] толщина дренарующего слоя песка средней крупности составляет 0,22 м.

**3. Определение марки каркасов швов расширения швов сжатия:** в зависимости от ширины полосы укладки 4500 мм и толщины слоя покрытия по таблицам 30-33 [6] определяем марку каркасов швов расширения и сжатия бетона, а также их количество на длину плиты. Для бордюрного профиля сетка боковая каркасная не применяется. Длина плиты принята 60 метров.

Для полосы груженого направления: КШРБ 4305 – 1, КШСБ 4305 - 7; для полосы порожнего направления КШРБ 4304 – 1, КШСБ 4304 – 7. Определяем массу каждого конструктивного элемента [7] и сводим данные в таблицу.

Вид каркаса	Масса			
	марка 4305		марка 4304	
КШРБ	46,8		46,5	
КШСБ		37,1		36,8

Рассчитываем общую массу данных элементов на 1 км дороги для каждого направления. На 1 км дороги условно приходится:

$$n = 1000/60 = 16,67 \text{ плиты.}$$

Полоса груженого движения:

$$M_{\text{кшрб}} = 1 \cdot 16 \cdot 46,8 = 748,8 \text{ кг;}$$

$$M_{\text{кшсб}} = 7 \cdot 16 \cdot 37,1 + 4 \cdot 37,1 = 4303,6 \text{ кг.}$$

Полоса порожнего движения:

$$M_{\text{кшрб}} = 1 \cdot 16 \cdot 46,5 = 744 \text{ кг;}$$

$$M_{\text{кшсб}} = 7 \cdot 16 \cdot 36,8 + 4 \cdot 36,8 = 4268,8 \text{ кг}$$

Итого КШРБ – 16 элементов, КШСБ – 102 элемента.

Составляем общую ведомость масс каркасов швов расширения и сжатия на 1 км дороги.

Марка	КШРБ 4305	КШСБ 4305	КШРБ 4304	КШСБ 4304
Масса, кг	748,8	4303,6	744,0	4268,8

**Библиографический список**

1. Большая Советская Энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1977.
2. СНиП 23-01-99. Строительная климатология / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 58 с.
3. СНиП 2.05.02–85. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. – М.: ЦНТП Госстроя СССР, 1985. – 56 с.
4. СНиП 2.05.07–91(1996). Промышленный транспорт / Госстрой СССР. – М.: ЦНТП Госстроя СССР, 1991. – 125 с.
5. ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд / Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. – М.: Инфрмавтодор, 2001. – 144 с.
6. ТМ серия 3.503.9-72 выпуск 0 «Материалы для проектирования»/ Главоргпроект Госстроя СССР.-124 с.
7. ТМ серия 3.503.9-72 выпуск 1 «Дорожные одежды автомобильных дорог промышленных предприятий. Арматурные изделия для жестких покрытий дорожных одежд.»/ Главоргпроект Госстроя СССР.-74 с.

### Оглавление

Цели и задачи курсовой работы.....	3
Содержание курсовой работы.....	3
Требования к оформлению работы.....	3
Исходные данные к курсовой работе .....	4
Структура пояснительной записки.....	4
1. Краткое описание природно-климатических условий района строительства.....	4
2. Назначение конструкции и расчет нежестких дорожных одежд на прочность.....	5
2.1. Общие положения.....	5
2.2. Последовательность расчета по критериям прочности.....	6
2.3. Расчетные параметры подвижной нагрузки.....	8
2.4. Назначение конструкции дорожной одежды.....	10
2.5. Расчетные характеристики материалов и грунтов.....	11
2.6. Расчет конструкции дорожной одежды по допускаемому упру- тому прогибу.....	13
2.7. Расчет по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев .....	14
2.8. Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.....	17
3. Проверка дорожной конструкции на морозоустойчивость.....	20
4. Расчет жесткой дорожной одежды.....	22
4.1. Общие положения.....	22
4.2. Назначение конструкции жесткой дорожной одежды.....	23
4.3. Расчет дренающего слоя.....	23
4.4. Определение характеристик арматуры.....	25
Пример расчета нежесткой дорожной одежды.....	25
Пример расчета жесткой дорожной одежды.....	32
Библиографический список.....	36

Учебное издание

**Расчет конструкций дорожных одежд  
дорог промышленных предприятий**  
Методические указания к выполнению  
курсовой работы и практических заданий  
по дисциплине «Проектирование дорог промышленных предприятий»  
для студентов специальности  
23.05.06 – Строительство железных дорог, мостов и транспортных  
тоннелей

Составители: **Горшкова** Нина Георгиевна  
**Сачкова** Алиса Вадимовна

Подписано в печать 25.05.16 Формат 60x84/16. Усл.печ.л. 2,2. Уч-изд.л. 2,4.  
Тираж 30 экз. Заказ Цена  
Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете  
им. В.Г. Шухова  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46