

9 РАСЧЁТ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ В МОНОЛИТНЫХ СЛОЯХ

Асфальтобетонные слои конструкции проверяют *на прочность при изгибе* по критерию

$$K_{\text{пр}} \geq K_{\text{пр}}^{\text{тр}}, \quad (9.1)$$

где коэффициент прочности

$$K_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{и}}}{\sigma_r}, \quad (9.2)$$

$R_{\text{и}}$ – предельно допустимое растягивающее напряжение для материала монолитного слоя (показатель прочности материала слоя на растяжение при изгибе с учётом усталостных явлений), σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в монолитном слое, устанавливаемое расчётом. Требуемый коэффициент прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ назначают по табл. 5.1. Он такой же, как и при расчётах на сдвиг в слабосвязных грунтах.

Данный критерий применяется для расчета дорожных одежд, содержащих монолитные слои. К ним относятся слои из асфальтобетона, дёгтебетона, материалов и грунтов, укрепленных комплексными и неорганическими вяжущими.

При расчётах на изгиб в монолитных слоях систему, включающую в себя дорожные одежды и подстилающий слой, приводят к двухслойной модели. К верхнему слою модели относят все асфальтобетонные слои, включая рассчитываемый. Нижним (полубесконечным) слоем модели служит часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев. Она включает в себя и грунт рабочего слоя земляного полотна.

Задают толщину верхнего слоя модели $h_{\text{в}}$, равную сумме толщин, входящих в пакет асфальтобетонных слоев,

$$h_{\text{в}} = \sum_{i=1}^n h_i, \quad (9.3)$$

где n – количество асфальтобетонных слоев, h_i – толщина i -го асфальтобетонного слоя, см.

Вычисляют значение модуля упругости верхнего слоя модели, как средневзвешенное для всего пакета асфальтобетонных слоев, по формуле

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{h_{\text{в}}}, \quad (9.4)$$

где E_i – модуль упругости i -го слоя, МПа.

Модуль упругости нижнего слоя модели определяют путём приведения слоистой системы к эквивалентной по жёсткости с помощью номограммы на

рис. 7.1. Здесь требуется определить $E_{\text{общ}}$ на нижней границе асфальтобетонного пакета. Расчет ведут послойно, начиная с подстилающего грунта.

Далее, вычисляют расчётное растягивающее напряжение по формуле

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \cdot p \cdot k_b, \quad (9.5)$$

где $\bar{\sigma}_r$ – растягивающее напряжение от единичной нагрузки; p – расчётное давление; k_b – коэффициент, учитывающий особенности напряжённого состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном.

Растягивающее напряжение от единичной нагрузки $\bar{\sigma}_r$ определяют по номограмме на рис. 9.1, для соответствующих значений отношения $\frac{h_b}{D}$, где D – диаметр следа колеса, и $\frac{E_b}{E_n}$. Порядок использования показан на номограмме стрелками.

Расчётное давление p принимают равным 0,8 МПа для капитальных дорожных одежд и 0,6 МПа – для облегченных.

Коэффициент $k_b = 0,85$ (при расчёте на однобаллонное колесо $k_b = 1,00$).

Находят прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе по формуле

$$R_N = R_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (1 - v_R \cdot t), \quad (9.6)$$

где R_0 – нормативное значение предельного сопротивления растяжению (прочность) при изгибе при расчётной низкой весенней температуре при однократном приложении нагрузки; k_1 – коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки; k_2 – коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодных-климатических факторов; v_R – коэффициент вариации прочности на растяжение; t – коэффициент нормативного отклонения.

В пакете асфальтобетонных слоёв за предельное растягивающее напряжение R_N принимают значение, отвечающее материалу нижнего слоя асфальтобетонного пакета.

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

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}, \quad (9.7)$$

где $\sum N_p$ – расчётное суммарное число приложений расчётной нагрузки за срок службы монолитного покрытия; m – показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя; α – коэффициент, учитываю-

ший различие в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой, а также вероятность совпадения во времени расчётной (низкой) температуры покрытия и расчетного состояния грунта рабочего слоя по влажности.

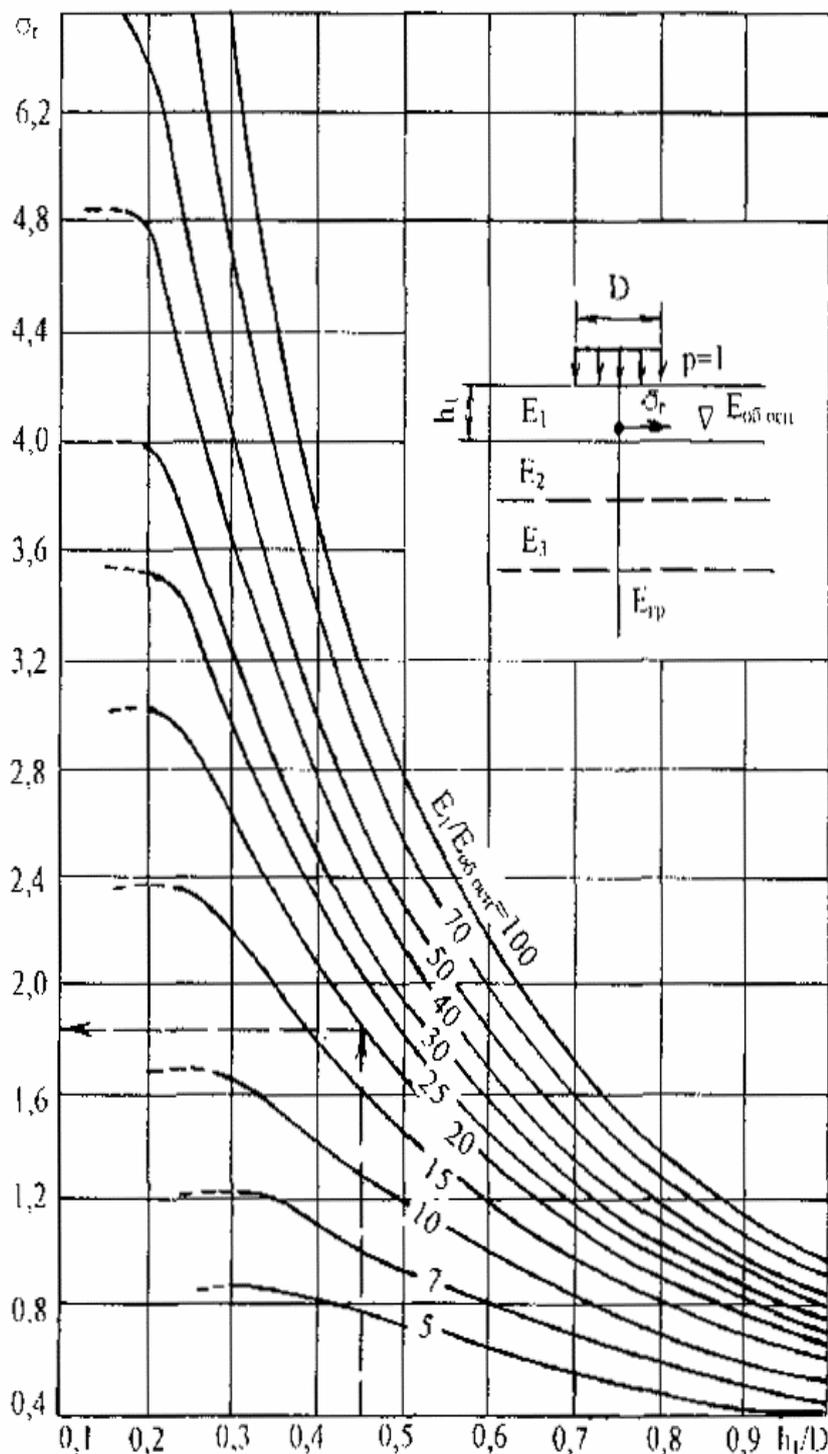


Рисунок 9.1 – Номограмма для определения растягивающих напряжений при изгибе в верхнем монолитном слое двухслойной системы (ОДН 218.046-01, рис. 3.4)

Коэффициент k_2 принимают по табл. 9.1.

Таблица 9.1 – Значения коэффициента k_2 (ОДН 218.046-01, табл. 3.6)

Материал расчетного слоя		k_2	
Асфальтобетон	Высокоплотный	1,0	
	Плотный	I марки	0,95
		II марки	0,90
		III марки	0,80
Пористый и высокопористый		0,80	
Органоминеральные смеси		0,80	

Коэффициент вариации прочности на растяжение согласно ОДН 218.046-01, табл. П.4.1 $v_R = 0,1$.

Для уровня надежности 0,95 коэффициент нормативного отклонения $t=1,71$ (табл. 6.6).

Вычисляют коэффициент прочности по формуле (9.2) и проверяют критерий надёжности (9.1).

Пример 9.1. Рассмотрим алгоритм расчёта на нашем примере (табл. 9.1). Дорога I-й категории; капитальные дорожные одежды; заданная надёжность $K_H = 0,95$.

1. По табл. 5.1 для заданной надёжности принимаем требуемый коэффициент прочности $K_{np}^{тр} = 1$.

2. Вычисляем по формуле (9.3) толщину пакета асфальтобетонных слоёв – верхнего слоя системы $h_B = \sum_{i=1}^2 h_i = 7 + 10 = 17$ см.

3. Находим средневзвешенный модуль упругости верхнего слоя системы

$$E_B = \frac{\sum_{i=1}^2 E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^2 h_i} = \frac{3600 \cdot 7 + 2200 \cdot 10}{17} = 2776 \text{ МПа.}$$

4. Модуль упругости нижнего слоя модели определяем путём приведения слоистой системы к эквивалентной по жёсткости с помощью номограммы на рис. 7.1. Нам нужно определить $E_{общ}$ на поверхности слоя из чёрного щебня. Согласно расчётам, выполненным в примере 7.1, $E_{общ}^{числ} = 276$ МПа.

Таким образом, $E_H = E_{общ}^{числ} = 276$ МПа.

Таблица 9.1 – Исходные данные к расчёту дорожных одежд капитального типа

№	Материал слоя	h , см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E , МПа	По усл. сдвиго- уст., E , МПа	Расчёт на растяжение при изгибе			
						E , МПа	R_0 , МПа	α	m
1	Асфальтобетон плотный мелкозернистый, тип А марка I, БНД 90/130	7	0,0024	2400	1200	3600	9,5	5,4	5,0
2	Асфальтобетон пористый марка II, БНД 90/130	10	0,0023	1400	800	2200	7,8	6,3	4,0
3	Чёрный щебень в заклинку фр. 40-70, БНД 90/130	18	0,002	600	600	600	-	-	-
4	Щебёночно-гравийно- песчаная смесь, обрабо- танная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5	Песок крупный с содер- жанием пылевато- глинистой фракции 5%. При динамическом воздей- ствии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 28^\circ$. При статическом воздей- ствии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-
	Подстилающий грунт зем- ляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8W_T$; При динамическом воздей- ствии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 12^\circ$. При статическом воздей- ствии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-

5. Определяем растягивающее напряжение от единичной нагрузки $\bar{\sigma}_r$, для чего сначала находим отношения $\frac{h_6}{D} = \frac{17}{39} = 0,43$ и $\frac{E_b}{E_n} = \frac{2776}{276} = 10,05$. Затем, по номограмме рис. 9.1 определяем $\bar{\sigma}_r = 1,35$.

6. Расчётное давление принимаем равным $p = 0,8$ МПа; коэффициент $k_b = 0,85$. Тогда расчётное растягивающее напряжение:

$$\sigma_r = 1,35 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 0,92 \text{ МПа.}$$

7. Находим коэффициент для нижнего слоя асфальтобетона

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}} = \frac{6,3}{\sqrt[4]{1225700}} = \frac{6,3}{33,27} = 0,19.$$

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе

$$R_N = R_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (1 - v_R \cdot t) = 7,8 \cdot 0,19 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,71) = 0,98.$$

Вычисляем $\frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{0,98}{0,92} = 1,06$, что больше, чем $K_{np}^{тр} = 1,0$.

Таким образом, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности на изгиб в монолитных слоях.

Источники информации

1. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.
2. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.
3. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.
4. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М., ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 54 с.
5. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.
6. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.
7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения / М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.
8. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.
9. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>