

7 ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПО ДОПУСТИМОМУ УПРУГОМУ ПРОГИБУ

Конструкция дорожной одежды в целом будет удовлетворять требованиям прочности и надёжности по величине упругого прогиба при условии:

$$\frac{E_{\text{общ}}}{E_{\text{тр, min}}} \geq K_{\text{пр}}^{\text{тр}}, \quad (7.1)$$

где $E_{\text{общ}}$ – общий расчётный модуль упругости конструкции, МПа; $E_{\text{тр, min}}$ – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа; $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надёжности (по табл. 5.1).

Величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции назначают по правилу, МПа:

$$E_{\text{тр, min}} = \max(E_{\text{табл}}; E_{\text{min}}), \quad (7.2)$$

где E_{min} вычисляют по эмпирической формуле, а $E_{\text{табл}}$ назначают по табл. 7.1.

При расчётах дорожных одежд капитального типа, для которых $p = 0,8$ МПа, в соответствии с письмом (см. Приложение) следует использовать эмпирическую формулу

$$E_{\text{min}} = \sqrt{\frac{p}{600}} \cdot 98,65 \cdot (\lg(\sum N_p) - c) = \sqrt{\frac{800}{600}} \cdot 98,65 \cdot (\lg(\sum N_p) - c).$$

Тогда

$$E_{\text{min}} = 113,94 (\lg(\sum N_p) - c), \quad (7.3)$$

где c – эмпирический параметр, принимаемый по табл. 7.2. Для остальных дорожных одежд, рассчитываемых на удельную нагрузку $p = 0,6$ МПа, в соответствии ОДН 218.046-01 следует пользоваться формулой

$$E_{\text{min}} = 98,65 (\lg(\sum N_p) - c) \quad (7.4)$$

В том случае, когда суммарное расчётное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды $\sum N_p < 4 \cdot 10^4$, минимальный требуемый модуль упругости следует принимать по табл. 7.1.

Независимо от результата, полученного по формулам (7.3) и (7.4), требуемый модуль упругости должен быть не менее $E_{\text{табл}}$, указанного в табл. 7.1.

Общий расчётный модуль упругости конструкции определяют с помощью номограммы, построенной по решению теории упругости для модели многослойной среды (рис. 7.1). Приведение многослойной конструкции к эквивалентной однослойной ведут послойно, начиная с подстилающего грунта.

Таблица 7.1 (ОДН 218.046-01, табл. 3.4) – Минимальный требуемый модуль упругости

Категория дороги	Суммарное минимальное расчётное число приложений расчётной нагрузки на наиболее нагруженную полосу	Требуемый модуль упругости одежды, $E_{\text{табл}}$, МПа		
		капитальной	облегченной	переходной
I	750000	230	-	-
II	500000	220	210	-
III	375000	200	200	-
IV	110000	-	150	100
V	40000	-	100	50

Таблица 7.2 – Значения эмпирического параметра c

Нормативная нагрузка на ось, кН	c	Источник
100	3,55	ОДН 218.046-01, п. 3.25
110	3,25	ОДН 218.046-01, п. 3.25
115	3,15	По интерполяции квадратическим полиномом Лагранжа
130	3,05	ОДН 218.046-01, п. 3.25

Расчёт по допустимому упругому прогибу (по требуемому модулю деформации) приведён ниже. Его ведут в следующей последовательности:

1. Определяют минимальный общий модуль конструкции E_{min} по формуле (7.3) или (7.4).

2. Назначают требуемый минимальный общий модуль конструкции $E_{\text{тр, min}}$ по условию (7.2).

3. Составляют таблицу с исходными данными для расчёта, пример которой приведён в табл. 7.3.

4. Назначают модули и предварительно толщины слоёв конструкции.

5. Определяют требуемые модули упругости на поверхности каждого конструктивного слоя дорожной одежды, ведя расчёт конструкции сверху вниз, последовательно применяя номограмму, приведённую на рис. 7.1. В итоге, должен быть определён требуемый модуль упругости на поверхности дополнительного слоя основания.

Пример 7.1. Расчёт капитальных дорожных одежд по упругому прогибу

Требуется спроектировать на дороге I категории с заданной надёжностью $K_n = 0,95$ дорожную одежду капитального типа при суммарном количестве приложений расчётной нагрузки за срок службы, $\sum N_p = 1225700$ груз.ед. Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчёта по допускаемому упругому прогибу, согласно табл. 5.1, составляет $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1,3$.

1. Предварительно назначаем конструкцию и расчётные значения расчётных параметров (см. гл. 6). Они приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3 – Исходные данные для материалов слоёв дорожной одежды

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E, МПа	По усл. сдвигу, 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, обработанная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5.	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%. При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 28^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-
	Подстилающий грунт земляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8W_T$; При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 12^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-

2. Так как мы проектируем дорожные одежды капитального типа, то минимальный требуемый модуль упругости на поверхности покрытия определим по формуле (7.3):

$$E_{\min} = 113,94(\lg(\Sigma N_p) - 3,15) = 113,94(\lg 1225700 - 3,15) = 335 \text{ МПа.}$$

Это значение больше табличного (см. табл. 7.1), следовательно, в соответствии с условием (7.2) $E_{тр,\min} = 335$ МПа.

3. Расчёт по допускаемому упругому прогибу ведем послойно, начиная с подстилающего грунта по номограмме (рис. 7.1).

$$3.1. \frac{E_H}{E_B} = \frac{E^{ГР}}{E^{песок}} = \frac{32}{130} = 0,25.$$

Диаметр следа колеса $D = 39$ см. Тогда $\frac{h_B}{D} = \frac{h^{песок}}{D} = \frac{50}{39} = 1,28$.

По номограмме $\frac{E_{общ}^{песок}}{E_H^{песок}} = 0,61$. Тогда $E_{общ}^{песок} = 0,61 \cdot 130 = 79,3$ МПа.

$$3.2. \frac{E_H}{E_B} = \frac{E_{общ}^{песок}}{E^{шгпс}} = \frac{79,3}{400} = 0,20. \text{ Отношение } \frac{h^{шгпс}}{D} = \frac{28}{39} = 0,72.$$

По номограмме $\frac{E_{общ}^{шгпс}}{E_H^{шгпс}} = 0,44$. Тогда $E_{общ}^{шгпс} = 0,44 \cdot 400 = 176$ МПа.

$$3.3. \frac{E_H}{E_B} = \frac{E_{общ}^{шгпс}}{E^{чщ}} = \frac{176}{600} = 0,29. \text{ Отношение } \frac{h^{чщ}}{D} = \frac{18}{39} = 0,46.$$

По номограмме $\frac{E_{общ}^{чщ}}{E_H^{чщ}} = 0,46$. Тогда $E_{общ}^{чщ} = 0,46 \cdot 600 = 276$ МПа.

$$3.4. \frac{E_H}{E_B} = \frac{E_{общ}^{чщ}}{E^{a/\delta_2}} = \frac{276}{1400} = 0,20. \text{ Отношение } \frac{h^{a/\delta_2}}{D} = \frac{10}{39} = 0,26.$$

По номограмме $\frac{E_{общ}^{a/\delta_2}}{E_H^{a/\delta_2}} = 0,26$. Тогда $E_{общ}^{a/\delta_2} = 0,26 \cdot 1400 = 364$ МПа.

$$3.5. \frac{E_H}{E_B} = \frac{E_{общ}^{a/\delta_2}}{E^{a/\delta_1}} = \frac{364}{2400} = 0,15. \text{ Отношение } \frac{h^{a/\delta_1}}{D} = \frac{7}{39} = 0,18.$$

По номограмме $\frac{E_{общ}^{a/\delta_1}}{E_H^{a/\delta_1}} = 0,19$. Тогда $E_{общ}^{a/\delta_1} = 0,19 \cdot 2400 = 456$ МПа.

3.6. Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу.

$$\frac{E_{общ}^{a/\delta_1}}{E_{ГР \min}} = \frac{456}{335} = 1,36. \text{ Полученное значение превышает } 1,3.$$

Таким образом, рассматриваемая конструкция дорожной одежды удовлетворяет условию прочности по критерию упругого прогиба.

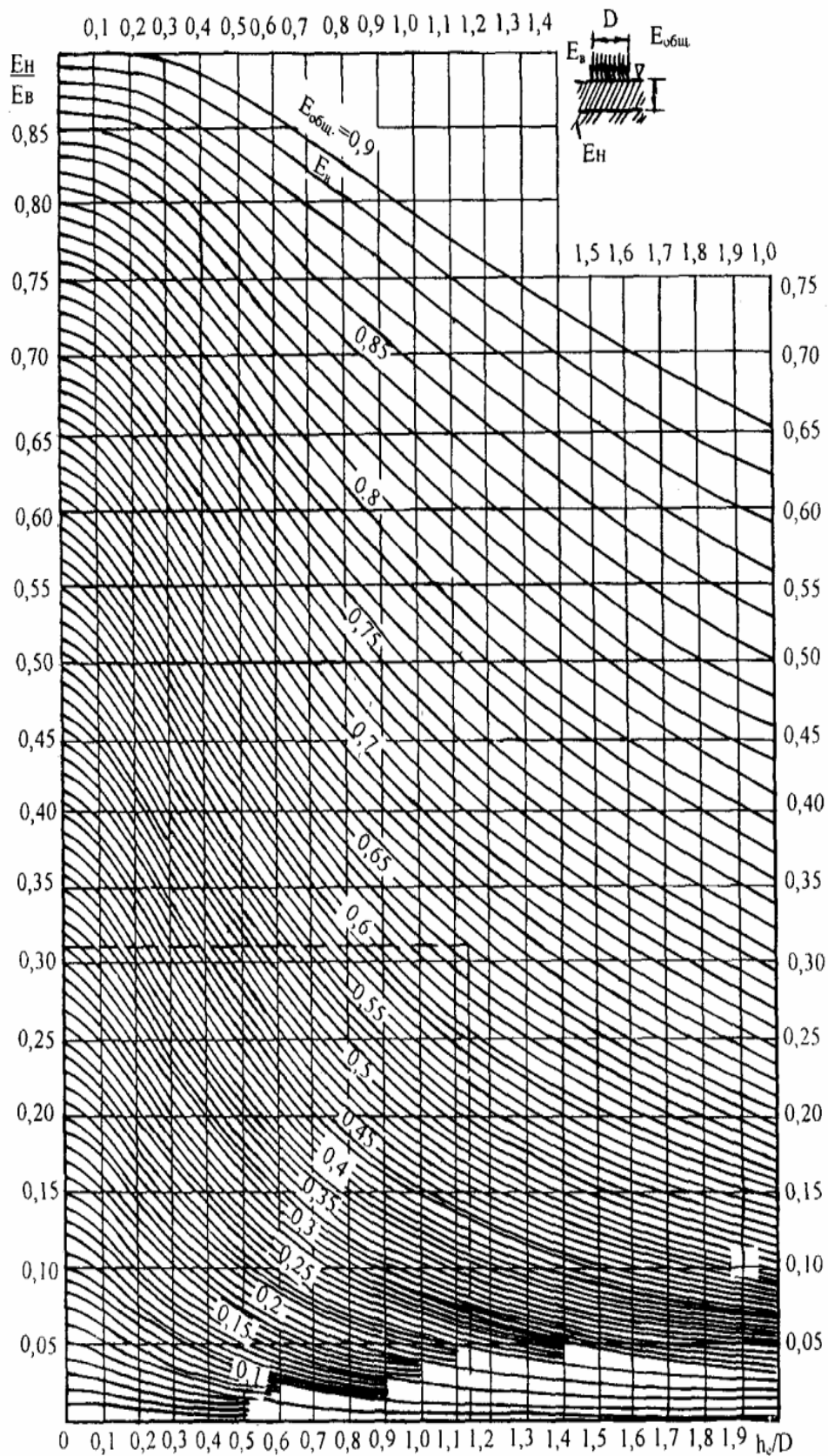


Рисунок 7.1 (ОДН 218.046-01, рис. 3.1) – Номограмма для определения общего модуля упругости двухслойной системы $E_{общ}$

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>

Приложение



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
 ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА (АО ЦНИИС)
 ул. Кольская, д. 1, Москва, Россия, 129329

Руководителю Федерального
 дорожного агентства
 Р.В. Старовойту

Филиал АО ЦНИИС
 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОСТЫ»
 телефон: 8 (499) 180-42-95, телефон/ факс: 8 (499) 180-52-30
 e-mail: most@tsniis.com http://www.tsniis.com
 ОКПО 01393674 ОГРН 1027700100119 ИНН 7716007031 КПП 771602002

18.10.2016 № 531125/708
 на Ваш № _____

Уважаемый Роман Владимирович !

В связи с введением ГОСТ 32960-2014, в котором устанавливается давление (р) от колеса на покрытие равное 800 кПа, просим Вас разослать в подведомственные организации Федерального дорожного агентства разъяснения по применению данной нормы совместно с ОДН 218.046-01.

При расчете дорожной одежды по ОДН 218.046-01, требуемый модуль упругости при давлении отличном от 600 кПа, может быть определен по формуле:

$$E_{\text{нр}} = \sqrt{p/600} * 98,65(\lg N - c),$$

где р - принимаемое в расчете давление от колеса на покрытие.
 Так, при р = 800. $E_{\text{нр}} = 1,155 * 98,65 (\lg N - c)$

С уважением,
 Директор филиала

И.В. Илюшин

РОСАВТОДОР
 вх. № 56650
 от 19.10.2016

