Расчёт конструкции дорожной одежды

Исходные данные

Название объекта: Автомобильная дорога
Выполняемые расчёты: На упругий прогиб, сдвиг, изгиб, стат. нагрузку
Дорожно-климатическая зона: V
Схема увлажнения: Схема 1

Расчётная влажность грунта

Среднее многолетнее значение относительной влажности грунта $W_{\text{таб}} = 0,65$
Коэффициент нормированного отклонения $t = 0,9$ [1, табл. В.2]
Поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин $\Delta_2 W = 0$ [1, табл. В.4]
Расчётная влажность грунта [1, формула В.1] $W_{\text{р}} = W_{\text{таб}} \times (1 + 0,1 \times t) = 0,65 \times (1 + 0,1 \times 0,9) = 0,71$

Коэффициент уплотнения грунта: 0,97
Высота насыпи: 0,00 м

Проектные данные

Техническая категория дороги: III категория
Тип дорожной одежды: Капитальный

Требуемые коэффициенты прочности при заданной надёжности $K_{\text{н}} = 0,8$:
Требуемый $K_{\text{пр}}$ (упругий прогиб): 0,846
Требуемый $K_{\text{пр}}$ (сдвиг, изгиб): 0,846
Коэффициент нормированного отклонения $t = 0,9$

Расчётный срок службы $T_{\text{сл}}$, лет: 10
Ширина проезжей части, м: 7,5
Число полос движения (в обе стороны): 2
Номер расчётной полосы от обочины: 1

Расчётная нагрузка

Группа расчётной нагрузки А10 [1, табл. А.1]:
Давление в шине p, МПа: 0,6
Диаметр отпечатка шины $D_{\text{дин.}}$, см: 37,00
Статическая нагрузка на ось $Q_{\text{ст}}$, кН: 100,00
Статическая нагрузка от колеса на поверхность $Q_{\text{н}}$, кН: 50,00

Суммарное число приложений нагрузки

$\sum N_{\text{р}} = 400000$ ед.
Требуемый модуль упругости [1, формула 8]:

$$E_{\text{тр}} = 120 + 74 \times (\lg \sum N_{\text{р}} - c) = 120 + 74 \times (\lg 400000 - 4,5) = 201,55 \text{ МПа}$$

Для 5 дорожно-климатиечской зоны предусматривается снижение требуемого модуля упругости на 15%
Требуемый модуль упругости $E_{\text{тр}} = 171,3$ МПа
Требуемый модуль упругости $E_{\text{тр}} = 180$ МПа

Вариант № 1

1) Верхний слой покрытия: 4,0 см

Асфальтобетон горячей укладки плотный, из щебёночной (гравийной) смеси типа А, марка битума БНД/БН-70/100 (СП РК 3.03-104-2014)

2) Нижний слой покрытия: 6,0 см

Асфальтобетон горячей укладки пористый из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-70/100 (СП РК 3.03-104-2014)

3) Верхний слой основания: 8,0 см

Щебень чёрный для оснований, уложенный по способу заклинки

4) Дополнительный слой основания: 29,0 см

Песчано-гравийные смеси по ПНСТ 403–2020

Грунт земляного полотна

Суглинок лёгкий

Расчёт на упругий прогиб

Расчёт по допускаемому упругому прогибу ведём послойно, начиная с грунта.

[1, номогр. 2]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{г}}}{E_4} = \frac{39,81}{180} = 0,2212; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_4}{D} = \frac{29}{37} = 0,7838; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E^3{}_{\text{пов}}}{E_4} \approx 0,47413$$

$$E^3{}_{\text{пов}} = 0,47413 \times 180 = 85,34 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 2]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_4}{E_3} = \frac{85,34}{600} = 0,1422; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_3}{D} = \frac{8}{37} = 0,2162; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E^2{}_{\text{пов}}}{E_3} \approx 0,19009$$

$$E^2{}_{\text{пов}} = 0,19009 \times 600 = 114,05 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 2]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_3}{E_2} = \frac{114,05}{2000} = 0,057; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_2}{D} = \frac{6}{37} = 0,1622; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E^1{}_{\text{пов}}}{E_2} \approx 0,07583$$

$$E^1{}_{\text{пов}} = 0,07583 \times 2000 = 151,66 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 2]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{151,66}{3200} = 0,0474; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_1}{D} = \frac{4}{37} = 0,1081; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E^0{}_{\text{пов}}}{E_1} \approx 0,05735$$

$$E^0{}_{\text{пов}} = 0,05735 \times 3200 = 183,52 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{тр}}} = \frac{183,52}{180} = 1,02; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{1,02 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 20,57\%$$

Прочность по критерию допустимого упругого прогиба конструкции обеспечена.

Расчёт на сдвигоустойчивость

Дополнительный слой основания
Материал: Песчано-гравийные смеси по ПНСТ 403–2020
$E = 180,0$ МПа, $\phi = 38,00^{\circ}$, $c = 0,03000$ МПа
Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 13]:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{3} E_i \times h_i}{\sum\limits_{i=1}^{3} h_i} = \frac{380 \times 4 + 360 \times 6 + 600 \times 8}{4 + 6 + 8} = 471,1 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 3]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E} = \frac{471,1}{180} = 2,62; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{18}{37} = 0,49; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,07314 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от собственного веса дорожной одежды [1, номогр. 1]:

$$\tau_{\text{в}} \approx -0,0012 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 10]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p + \tau_{\text{в}} = 0,07314 \times 0,6 - 0,00115 = 0,04273 \text{ МПа}$$

Коэффициент, учитывающий снижение сопротивления грунта сдвигу под агрессивным действием подвижных нагрузок, $k_1 = 0,6$
Коэффициент запаса на неоднородность условии работы конструкции $k_2 = 1,097$
Коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе, $k_3 = 5$
Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 11]

$$T_{\text{пр}} = c_{\text{п}} \times k1 \times k2 \times k3 = 0,03 \times 0,6 \times 1,1 \times 5 \approx 0,0987 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0987}{0,04273} = 2,31; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{2,31 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 173\%$$

Прочность по критерию сдвигоустойчивости слоя обеспечена.

Грунт земляного полотна
Материал: Суглинок лёгкий
$E = 39,8$ МПа, $\phi = 17,49^{\circ}$, $c = 0,01832$ МПа
Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 13]:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{4} E_i \times h_i}{\sum\limits_{i=1}^{4} h_i} = \frac{380 \times 4 + 360 \times 6 + 600 \times 8 + 180 \times 29}{4 + 6 + 8 + 29} = 291,5 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 3]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E} = \frac{291,5}{39,8} = 7,32; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{47}{37} = 1,27; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,03496 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от собственного веса дорожной одежды [1, номогр. 1]:

$$\tau_{\text{в}} \approx -0,0001 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 10]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p + \tau_{\text{в}} = 0,03496 \times 0,6 - 0,00013 = 0,02084 \text{ МПа}$$

Коэффициент, учитывающий снижение сопротивления грунта сдвигу под агрессивным действием подвижных нагрузок, $k_1 = 0,6$
Коэффициент запаса на неоднородность условии работы конструкции $k_2 = 1,097$
Коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе, $k_3 = 1,5$
Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 11]

$$T_{\text{пр}} = c_{\text{п}} \times k1 \times k2 \times k3 = 0,018 \times 0,6 \times 1,1 \times 1,5 \approx 0,01777 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,01777}{0,02084} = 0,85; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{0,85 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 0,5\%$$

Прочность по критерию сдвигоустойчивости грунта земляного полотна обеспечена.

Расчёт на статическую нагрузку

Дополнительный слой основания
Материал: Песчано-гравийные смеси по ПНСТ 403–2020
$E = 180,0$ МПа, $\phi = 38,00^{\text{o}}$, $c = 0,03000$ МПа
Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 13]:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{3} E_i \times h_i}{\sum\limits_{i=1}^{3} h_i} = \frac{300 \times 4 + 250 \times 6 + 600 \times 8}{4 + 6 + 8} = 416,7 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 3]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E} = \frac{416,7}{180} = 2,31; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{18}{33} = 0,55; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,05183 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от собственного веса дорожной одежды [1, номогр. 1]:

$$\tau_{\text{в}} \approx -0,0013 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 10]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p + \tau_{\text{в}} = 0,05183 \times 0,6 - 0,00126 = 0,02984 \text{ МПа}$$

Коэффициент, учитывающий снижение сопротивления грунта сдвигу под агрессивным действием подвижных нагрузок, $k_1 = 0,9$
Коэффициент запаса на неоднородность условии работы конструкции $k_2 = 1,23$
Коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе, $k_3 = 5$
Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 11]

$$T_{\text{пр}} = c_{\text{п}} \times k1 \times k2 \times k3 = 0,03 \times 0,9 \times 1,23 \times 5 \approx 0,16605 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,16605}{0,02984} = 5,56; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{5,56 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 557,2\%$$

Прочность по критерию сдвигоустойчивости слоя обеспечена.

Грунт земляного полотна
Материал: Суглинок лёгкий
$E = 39,8$ МПа, $\phi = 17,49^{\text{o}}$, $c = 0,01832$ МПа
Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 13]:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{4} E_i \times h_i}{\sum\limits_{i=1}^{4} h_i} = \frac{300 \times 4 + 250 \times 6 + 600 \times 8 + 180 \times 29}{4 + 6 + 8 + 29} = 270,6 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 3]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E} = \frac{270,6}{39,8} = 6,8; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{47}{33} = 1,42; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,02997 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от собственного веса дорожной одежды [1, номогр. 1]:

$$\tau_{\text{в}} \approx -0,0001 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 10]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p + \tau_{\text{в}} = 0,02997 \times 0,6 - 0,00013 = 0,01785 \text{ МПа}$$

Коэффициент, учитывающий снижение сопротивления грунта сдвигу под агрессивным действием подвижных нагрузок, $k_1 = 0,9$

Коэффициент запаса на неоднородность условии работы конструкции $k_2 = 1,23$

Коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе, $k_3 = 1,5$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 11]

$$T_{\text{пр}} = c_{\text{п}} \times k1 \times k2 \times k3 = 0,018 \times 0,9 \times 1,23 \times 1,5 \approx 0,02989 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,02989}{0,01785} = 1,67; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{1,67 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 97,4\%$$

Прочность по критерию сдвигоустойчивости грунта земляного полотна обеспечена.

Расчёт на изгиб

Материал нижнего слоя монолитного блока: Асфальтобетон горячей укладки пористый из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-70/100 (СП РК 3.03-104-2014)

Нормативное сопротивление весной $R_0 = 1,6$ МПа

Коэффициент снижения прочности $k_2 = 0,8$

Расчётная приведённая интенсивность движения на последний год службы [1, формула 12]

$$N_{\text{t}} = N_{\text{р}} \times q^{\text{T сл - 1}} = 91 \times 1,04^{10\text{ -1}} = 129,52$$

Коэффициент усталости [1, формула 16]

Параметр уравнения $\phi = 0,16$

$$K_{\text{у}} = (\frac{N_{\text{t}}}{1000})^{-\phi} = (\frac{129,5}{1000})^{-0,16} = 1,39$$

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе [1, формула 15]

$$R_{\text{п}} = R_0 \times (1 - v_{\text{г}} \times t) \times K_{\text{у}} \times k_2 = 1,6 \times (1 - 0,1 \times 0,9) \times 1,39 \times 0,8 = 1,615 \text{ МПа}$$

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{2} E_i \times h_i}{\sum\limits_{i=1}^{2} h_i} = \frac{4500 \times 4 + 2800 \times 6}{4 + 6} = 3480 \text{ МПа}$$

Общий модуль упругости основания $E_{\text{общ}} = 114,1$ МПа

Растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчётных диаметрах площадки, передающей нагрузку [1, номогр. 6]

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{3480}{114,1} = 30,5; \ \frac{h}{D} = \frac{10}{37} = 0,27; \ \overline{\sigma_{\text{г}}} = 3,49 \text{ МПа}$$

Расчётное напряжение [1, формула 14]

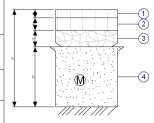
$$\sigma_{\text{г}} = \overline{\sigma_{\text{г}}} \times p \times k_{\text{в}} = 3,49 \times 0,6 \times 0,85 = 1,78 \text{ МПа}$$

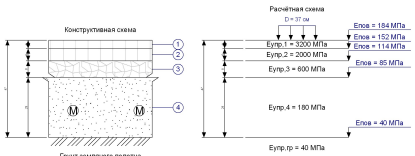
$$K_{\text{расч}} = \frac{R_{\text{п}}}{\sigma_{\text{г}}} = \frac{1,615}{1,78} = 0,91; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{0,91 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 7,28\%$$

Прочность по критерию растяжения при изгибе монолитных слоёв конструкции обеспечена.

Исходные данные

Название объекта	Автомобильная дорога		
Район проектирования			
Выполняемые расчёты	На упругий прогиб, сдвиг, изгиб, стат. нагрузку		
Техническая категория дороги	III категория	Схема увлажнения	Схема 1
Тип дорожной одежды	Капитальный	Коэффициент уплотнения грунта	0,97
Расчётная влажность грунта Wp	0,71	Требуемый поверхностный модуль упругости, МПа	180
Нагрузка, кН / Давление, МПа / D штампа, см	100 / 0,60 / 37	Суммарное число приложений нагрузки	400000
Заданная надёжность Кн	0,80	Срок службы между кап. ремонтами Тсл, лет	10
Дорожно-климатическая зона	V		

№ варианта	Наименование слоёв и материалов конструкции дорожной одежды	Схема конструкции дорожной одежды. Толщина, см	Общий модуль упругости на поверхности слоёв, МПа	Расчётные характеристики			
				Упругий прогиб, МПа	Сдвиг, МПа	Изгиб, МПа	Статическая нагрузка, МПа
Вариант № 1	1. Верхний слой покрытия — Асфальтобетон горячей укладки плотный, из щебёночной (гравийной) смеси типа А, марка битума БНДБН-70/100 (СП РК 3.03-104-2014)		Eупр = 184	Eупр = 3200 Ктр = 0,846 Красч = 1,020 Запас = 21%	Eсдв = 380	Eизг = 4500	Eстат = 300 МПа
	2. Нижний слой покрытия — Асфальтобетон горячей укладки пористый из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-70/100 (СП РК 3.03-104-2014)		Eупр = 152	Eупр = 2000	Eсдв = 360	Eизг = 2800 Ктр = 0,846 Красч = 0,908 Запас = 7%	Eстат = 250 МПа
	3. Верхний слой основания — Щебень чёрный для оснований, уложенный по способу заклинки		Eупр = 114	Eупр = 600	Eсдв = 600	Eизг = 600	Eстат = 600 МПа
	4. Дополнительный слой основания — Песчано-гравийные смеси по ПНСТ 403–2020		Eупр = 85	Eупр = 180	Eсдв = 180 Ктр = 0,846 Красч = 2,310 Запас = 173%	Eизг = 180	Eстат = 180 МПа Ктр = 0,846 Красч = 5,560 Запас = 557%
	Грунт земляного полотна — Суглинок лёгкий		Eупр = 40		Eсдв = 40 Ктр = 0,846 Красч = 0,850 Запас = 0%		Eстат = 40 МПа Ктр = 0,846 Красч = 1,670 Запас = 97%



1. Верхний слой покрытия — Асфальтобетон горячей укладки плотный, из щебёночной (гравийной) смеси типа А, марка битума БНДБН-70/100 (СП РК 3.03-104-2014)

2. Нижний слой покрытия — Асфальтобетон горячей укладки пористый из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-70/100 (СП РК 3.03-104-2014)

3. Верхний слой основания — Щебень чёрный для оснований, уложенный по способу заклинки

4. Дополнительный слой основания — Песчано-гравийные смеси по ПНСТ 403–2020

Технико-экономические характеристики конструкции дорожной одежды

Наименование материала	Ед. изм.	Стоимость, ед. изм.,	Расход материалов на 1000 п.м.	
			1 вариант	
			Количество	Стоимость,
Асфальтобетон горячей укладки плотный, из щебёночной (гравийной) смеси типа А, марка битума БНДБН-70/100 (СП РК 3.03-104-2014)	м²	1	400	400
Асфальтобетон горячей укладки пористый из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-70/100 (СП РК 3.03-104-2014)	м²	1	600	600
Щебень чёрный для оснований, уложенный по способу заклинки	м²	1	800	800
Песчано-гравийные смеси по ПНСТ 403–2020	м²	1	2900	2900
Итоговая стоимость:	—	—	—	4700

Список нормативных документов

1. СП РК 3.03–104–2014. Проектирование дорожных одежд нежёсткого типа. — Введ. 2015–07–01. — Астана, 2015. — 81 с.