Расчёт конструкции дорожной одежды

Исходные данные

Название объекта: Разработка ПСД "Реконструкция автомобильной дороги проспекта Женис г.Кандагаш, Мугалжарского района, Актюбенской области"
Выполняемые расчёты: На упругий прогиб, сдвиг, изгиб, стат. нагрузку, морозоустойчивость
Дорожно-климатическая зона: IV
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
Глубина промерзания дорожной конструкции, м: 1,38
Средняя многолетняя глубина промерзания, м: 1,00
Высота насыпи: 0,65 м

Проектные данные

Техническая категория дороги: I 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: 16
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

Требуемый модуль упругости $E_{\text{тр}}$ = 230 МПа

$$\sum N_{\text{р}} = 10^{(\text{E тр-120})/74 + \text{c}} = 10^{(230\text{-}120)/74 + 4,5} \approx 969363,11 \text{ ед.}$$

Вариант № 1

1) Верхний слой покрытия: 5,0 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) Основание: 20,0 см

Щебень фракционированный 40..80 (80..120) мм легкоуплотняемый с заклинкой фракционированным мелким щебнем

4) Дополнительный слой основания: 16,0 см

Песчано-гравийные смеси по ПНСТ 403–2020

Грунт земляного полотна

Глина

Расчёт на упругий прогиб

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

[1, номогр. 2]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{г}}}{E_4} = \frac{39,81}{180} = 0,2212; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_4}{D} = \frac{16}{37} = 0,4324; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E^3{}_{\text{пов}}}{E_4} \approx 0,35981$$

$$E^3{}_{\text{пов}} = 0,35981 \times 180 = 64,77 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 2]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_4}{E_3} = \frac{64,77}{450} = 0,1439; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_3}{D} = \frac{20}{37} = 0,5405; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E^2{}_{\text{пов}}}{E_3} \approx 0,29329$$

$$E^2{}_{\text{пов}} = 0,29329 \times 450 = 131,98 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 2]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_3}{E_2} = \frac{131,98}{2000} = 0,066; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_2}{D} = \frac{6}{37} = 0,1622; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E^1{}_{\text{пов}}}{E_2} \approx 0,08664$$

$$E^1{}_{\text{пов}} = 0,08664 \times 2000 = 173,28 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 2]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{173,28}{3200} = 0,0542; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_1}{D} = \frac{5}{37} = 0,1351; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E^0{}_{\text{пов}}}{E_1} \approx 0,0683$$

$$E^0{}_{\text{пов}} = 0,0683 \times 3200 = 218,56 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{тр}}} = \frac{218,56}{230} = 0,95; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{0,95 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 12,29\%$$

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]:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{3} E_i \times h_i}{\sum\limits_{i=1}^{3} h_i} = \frac{550 \times 5 + 460 \times 6 + 450 \times 20}{5 + 6 + 20} = 468,1 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 3, 4]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E} = \frac{468,1}{180} = 2,6; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{31}{37} = 0,84; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,05547 \text{ МПа}$$

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

$$\tau_{\text{в}} \approx -0,002 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 10]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p + \tau_{\text{в}} = 0,05547 \times 0,6 - 0,00198 = 0,0313 \text{ МПа}$$

Коэффициент, учитывающий снижение сопротивления грунта сдвигу под агрессивным действием подвижных нагрузок, $k_1 = 0,6$

Коэффициент запаса на неоднородность условии работы конструкции $k_2 = 1,025$

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

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 11]

$$T_{\text{пр}} = c_{\text{п}} \times k1 \times k2 \times k3 = 0,03 \times 0,6 \times 1,02 \times 5 \approx 0,09222 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,09222}{0,0313} = 2,95; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{2,95 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 248,7\%$$

Прочность по критерию сдвигоустойчивости слоя обеспечена.

Грунт земляного полотна

Материал: Глина

$E = 39,8$ МПа, $\phi = 17,49^{\circ}$, $c = 0,01832$ МПа

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 13]:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{4} E_i \times h_i}{\sum\limits_{i=1}^{4} h_i} = \frac{550 \times 5 + 460 \times 6 + 450 \times 20 + 180 \times 16}{5 + 6 + 20 + 16} = 370 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 3, 4]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E} = \frac{370}{39,8} = 9,29; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{47}{37} = 1,27; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,02857 \text{ МПа}$$

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]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p + \tau_{\text{в}} = 0,02857 \times 0,6 - 0,00013 = 0,01701 \text{ МПа}$$

Коэффициент, учитывающий снижение сопротивления грунта сдвигу под агрессивным действием подвижных нагрузок, $k_1 = 0,6$

Коэффициент запаса на неоднородность условии работы конструкции $k_2 = 1,025$

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

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 11]

$$T_{\text{пр}} = c_{\text{п}} \times k1 \times k2 \times k3 = 0,018 \times 0,6 \times 1,02 \times 1,5 \approx 0,0166 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0166}{0,01701} = 0,98; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{0,98 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 15,8\%$$

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]:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{3} E_i \times h_i}{\sum\limits_{i=1}^{3} h_i} = \frac{360 \times 5 + 280 \times 6 + 450 \times 20}{5 + 6 + 20} = 402,6 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 3, 4]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E} = \frac{402,6}{180} = 2,24; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{31}{33} = 0,94; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,03784 \text{ МПа}$$

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

$$\tau_{\text{в}} \approx -0,0022 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 10]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p + \tau_{\text{в}} = 0,03784 \times 0,6 - 0,00217 = 0,02053 \text{ МПа}$$

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]

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

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,16605}{0,02053} = 8,09; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{8,09 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 856,3\%$$

Прочность по критерию сдвигоустойчивости слоя обеспечена.

Грунт земляного полотна

Материал: Глина

$E = 39,8$ МПа, $\phi = 17,49^{\text{o}}$, $c = 0,01832$ МПа

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 13]:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{4} E_i \times h_i}{\sum\limits_{i=1}^{4} h_i} = \frac{360 \times 5 + 280 \times 6 + 450 \times 20 + 180 \times 16}{5 + 6 + 20 + 16} = 326,8 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 3, 4]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E} = \frac{326,8}{39,8} = 8,21; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{47}{33} = 1,42; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,02332 \text{ МПа}$$

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]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p + \tau_{\text{в}} = 0,02332 \times 0,6 - 0,00013 = 0,01386 \text{ МПа}$$

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]

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

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,02989}{0,01386} = 2,16; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{2,16 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 155,3\%$$

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]

$$N_{\text{t}} = N_{\text{p}} \times q^{\text{T сл - 1}} = 122 \times 1,04^{16\text{ -1}} = 219,72$$

Коэффициент усталости [1, формула 16]

Параметр уравнения $\phi = 0,16$

$$K_{\text{y}} = (\frac{N_{\text{t}}}{1000})^{-\phi} = (\frac{219,7}{1000})^{-0,16} = 1,27$$

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

$$R_{\text{п}} = R_0 \times (1 - v_{\text{r}} \times t) \times K_{\text{y}} \times k_2 = 1,6 \times (1 - 0,1 \times 0,9) \times 1,27 \times 0,8 = 1,484 \text{ МПа}$$

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^{2} E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{2} h_i} = \frac{4500 \times 5 + 2800 \times 6}{5 + 6} = 3572,7 \text{ МПа}$$

Общий модуль упругости основания $E_{\text{общ}} = 132,0$ МПа

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

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{3572,7}{132} = 27,1; \ \frac{h}{D} = \frac{11}{37} = 0,3; \ \overline{\sigma_{\text{r}}} = 3,09 \text{ МПа}$$

Расчётное напряжение [1, формула 14]

$$\sigma_{\text{r}} = \overline{\sigma_{\text{r}}} \times p \times k_{\text{в}} = 3,09 \times 0,6 \times 0,85 = 1,576 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{R_{\text{п}}}{\sigma_{\text{r}}} = \frac{1,484}{1,576} = 0,94; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{0,94 - 0,85}{0,85} \times 100\% = 11,32\%$$

Прочность по критерию растяжения при изгибе монолитных слоёв конструкции обеспечена.

Результаты расчёта на морозоустойчивость

Толщина стабильных слоёв дорожной одежды $z_1 = 47$ см

Показатель В = 3,5 см^2/

Климатический показатель [1, формула 19]

$$a_0 = \frac{(\overline{z} - z_1)^2}{2 \times T_3} = \frac{(100 - 47)^2}{2 \times 60} = 23,41$$

Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды) $H_y = 0,65$ м $+ 2$ м $= 2,65$ м
Ожидаемое пучение [1, номогр. 8]

$$\frac{z_1}{z} = \frac{47}{138} = 0,34;\ \frac{z}{H_{\text{угв}}} = \frac{138}{265} = 0,52;\ \frac{l_{\text{пуч}} \times a_0}{(B \times z)} = 0,17$$

$$l_{\text{пуч}} = \frac{0,17 \times 3,5 \times 138}{23,41} = 3,49$$

$$l_{\text{доп.}} = 4 \text{ см}$$

Исходные данные

Название объекта	Разработка ПСД "Реконструкция автомобильной дороги проспекта Женис г.Кандагаш, Мугалжарского района, Актюбинской области"		
Район проектирования			
Выполняемые расчёты	На упругий прогиб, сдвиг, изгиб, стат. нагрузку, морозоустойчивость		
Техническая категория дороги	I 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	230
Нагрузка, кН / Давление, МПа / D штампа, см	100 / 0,60 / 37	Суммарное число приложений нагрузки	969363
Заданная надёжность Kн	0,80	Срок службы между кап. ремонтами Tсл, лет	16
Дорожно-климатическая зона	IV	Глубина промерзания дорожной конструкции, м	1,38

Состав транспортного потока

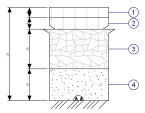
№	Транспортное средство	Интенсивность движения, авт/сут	Коэффициент приведения	Приведённая интенсивность
Итого		0		0

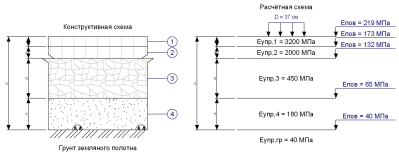
Показатель изменения интенсивности: 1,04

Суммарное число приложений нагрузки: 969363

Расчётная приведённая интенсивность движения на последний год службы: 220

Требуемый модуль упругости: 230

№ варианта	Наименование слоёв и материалов конструкции дорожной одежды	Схема конструкции дорожной одежды. Толщина, см	Общий модуль упругости на поверхности слоёв, МПа	Расчётные характеристики				Морозоустойчивость
				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)		Eпов = 219	Eупр = 3200 Ктр = 0,846 Красч = 0,950 Запас = 12%	Eсдв = 550	Eизг = 4500	Eстат = 360 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)		Eпов = 173	Eупр = 2000	Eсдв = 460	Eизг = 2800 Ктр = 0,846 Красч = 0,942 Запас = 11%	Eстат = 280 МПа	
	3. Основание — Щебень фракционированный 40..80 (80..120) мм легкоуплотняемый с заклинкой фракционированными мелким щебнем		Eпов = 132	Eупр = 450	Eсдв = 450	Eизг = 450	Eстат = 450 МПа	
	4. Дополнительный слой основания — Песчано-гравийные смеси по ПНСТ 403–2020		Eпов = 65	Eупр = 180	Eсдв = 180 Ктр = 0,846 Красч = 2,950 Запас = 246%	Eизг = 180	Eстат = 180 МПа Ктр = 0,846 Красч = 8,090 Запас = 856%	
	Грунт земляного полотна — Глина		Eпов = 40	Eупр = 40	Eсдв = 40 Ктр = 0,846 Красч = 0,980 Запас = 16%		Eстат = 40 МПа Ктр = 0,846 Красч = 2,160 Запас = 193%	hдоп = 4 см hлуч = 3 см Запас = 1 см



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. Основание — Щебень фракционированный 40..80 (80..120) мм легкоуплотняемый с заклинкой фракционированными мелким щебнем

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	500	500
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 фракционированный 40..80 (80..120) мм легкоуплотняемый с заклинкой фракционированными мелким щебнем	м²	1	2000	2000
Песчано-гравийные смеси по ПНСТ 403–2020	м²	1	1600	1600
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.