

Расчёт конструкции дорожной одежды

Исходные данные

Название объекта: Строительство автомобильной дороги III категории капитального типа.

Район проектирования: Пермский край

Выполняемые расчёты: На упругий прогиб, сдвиг, изгиб, стат. нагрузку, морозоустойчивость

Дорожно-климатическая зона: II - подзона 2

Схема увлажнения: Схема 2

Расчётная влажность грунта W_p : 0,70

Коэффициент уплотнения грунта: 1,00

Глубина промерзания грунтов, м: 1,60

Проектные данные

Техническая категория дороги: III категория

Тип дорожной одежды: Капитальный

Требуемые коэффициенты прочности при заданной надёжности $K_n = 0,95$ [1, табл. 3.1]:

Требуемый $K_{пр}$ (упругий прогиб): 1,17

Требуемый $K_{пр}$ (сдвиг, изгиб): 1

Коэффициент нормированного отклонения $t = 1,71$

Расчётный срок службы $T_{сл}$, лет: 15

Ширина проезжей части, м: 9,0

Расчётная нагрузка

Группа расчётной нагрузки № 2 [1, табл. П.1.1]:

Давление в шине p , МПа: 0,60

Диаметр отпечатка шины $D_{дин.}$, см: 39,00

Статическая нагрузка на ось Q , кН: 110,00

Суммарное число приложений нагрузки

$\sum N_p = 3000000$ ед.

Требуемый модуль упругости

$$E_{тр} = 98,65 \times (\lg \sum N_p - c) = 98,65 \times (\lg 3000000 - 3,25) \approx 318,36 \text{ МПа}$$

Вариант № 1

1) Покрытие: 5,0 см

ЩМА-15 щебень из изверженных горных пород М1200-М1400, марка битума 90/130, $E = 3300,0$ МПа

2) Покрытие: 8,0 см

Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-90/130, $E = 1400,0$ МПа

3) Основание: 25,0 см

Песчано-гравийная смесь, укрепленная стабилизатором грунта "ANT" в количестве 0,007% совместно с цементом в количестве 5%, М-80, $E = 1100,0$ МПа

4) Основание: 25,0 см

Суглинок, укрепленный стабилизатором грунта "ANT" в количестве 0,007% совместно с цементом в количестве 5%, М-40, $E = 600,0$ МПа

Грунт земляного полотна

Суглинок лёгкий

$E = 41,0$ МПа, $\phi = 5,50^\circ$, $\phi_{\text{стат.}} = 18,00^\circ$, $c = 0,00600$ МПа

Расчёт на упругий прогиб

Расчёт по допускаемому упругому прогибу ведём послойно, начиная с грунта.
[1, номогр. 3.1]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{б}}} = \frac{E_{\text{г}}}{E_4} = \frac{41}{600} = 0,07; \quad \frac{h_{\text{б}}}{D} = \frac{h_4}{D} = \frac{25}{39} = 0,64; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{б}}} = \frac{E_{\text{пов}}^3}{E_4} \approx 0,205$$
$$E_{\text{пов}}^3 = 0,205 \times 600 = 123 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 3.1]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{б}}} = \frac{E_4}{E_3} = \frac{123}{1100} = 0,11; \quad \frac{h_{\text{б}}}{D} = \frac{h_3}{D} = \frac{25}{39} = 0,64; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{б}}} = \frac{E_{\text{пов}}^2}{E_3} \approx 0,2775$$
$$E_{\text{пов}}^2 = 0,2775 \times 1100 = 305,25 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 3.1]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{б}}} = \frac{E_3}{E_2} = \frac{305,25}{1400} = 0,22; \quad \frac{h_{\text{б}}}{D} = \frac{h_2}{D} = \frac{8}{39} = 0,21; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{б}}} = \frac{E_{\text{пов}}^1}{E_2} \approx 0,2715$$
$$E_{\text{пов}}^1 = 0,2715 \times 1400 = 380,1 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 3.1]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{б}}} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{380,1}{3300} = 0,12; \quad \frac{h_{\text{б}}}{D} = \frac{h_1}{D} = \frac{5}{39} = 0,13; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{б}}} = \frac{E_{\text{пов}}^0}{E_1} \approx 0,1328$$
$$E_{\text{пов}}^0 = 0,1328 \times 3300 = 438,24 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{тр}}} = \frac{438,24}{318,36} = 1,38; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{1,38 - 1,17}{1,17} \times 100\% = 17,95\%$$

Расчёт на сдвигоустойчивость

Грунт земляного полотна

Материал: Суглинок лёгкий

$E = 41,0$ МПа, $\phi = 5,50^\circ$, $\phi_{\text{стат.}} = 18,00^\circ$, $c = 0,00600$ МПа

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 3.12]:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^4 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^4 h_i} = \frac{2000 \times 5 + 800 \times 8 + 1100 \times 25 + 600 \times 25}{5 + 8 + 25 + 25} = 934,9 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 3.2, 3.3]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{934,9}{41} = 22,8; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{63}{39} = 1,62; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,0162 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 3.13]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p = 0,0162 \times 0,6 = 0,0097 \text{ МПа}$$

Коэффициент $k_d = 1$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{\text{оп}} = 5 + 8 + 25 + 25 = 63 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоёв, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{1500 \times 5 + 2300 \times 8 + 2000 \times 25 + 2100 \times 25}{5 + 8 + 25 + 25} = 2038 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 3.14]

$$T_{\text{пр}} = k_d \times c_n + 0,1 \times \gamma_{\text{ср}} \times z_{\text{оп}} \times \text{tg} \phi_{\text{стат.}} = 1 \times 0,006 + 0,1 \times 0,002 \times 63 \times \text{tg} 18^\circ \approx 0,0102 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0102}{0,0097} = 1,05; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{1,05 - 1}{1} \times 100\% = 5\%$$

Расчёт на статическую нагрузку

Грунт земляного полотна

Материал: Суглинок лёгкий

$E = 41,0$ МПа, $\phi = 5,50^\circ$, $\phi_{\text{стат.}} = 18,00^\circ$, $c = 0,00600$ МПа

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 3.12]:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^4 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^4 h_i} = \frac{450 \times 5 + 360 \times 8 + 1100 \times 25 + 600 \times 25}{5 + 8 + 25 + 25} = 756 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 3.2, 3.3]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{756}{41} = 18,44; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{63}{34} = 1,85; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,01 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 3.13]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p = 0,01 \times 0,6 = 0,006 \text{ МПа}$$

Коэффициент $k_d = 1$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{\text{оп}} = 5 + 8 + 25 + 25 = 63 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоёв, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{1500 \times 5 + 2300 \times 8 + 2000 \times 25 + 2100 \times 25}{5 + 8 + 25 + 25} = 2038 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 3.14]

$$T_{\text{пр}} = k_d \times c_n + 0,1 \times \gamma_{\text{ср}} \times z_{\text{оп}} \times \text{tg} \phi_{\text{стат.}} = 1 \times 0,019 + 0,1 \times 0,002 \times 63 \times \text{tg} 18^\circ \approx 0,0232 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0232}{0,006} = 3,87; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{3,87 - 1}{1} \times 100\% = 287\%$$

Расчёт на изгиб

Материал нижнего слоя монолитного блока: Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-90/130

Нормативное сопротивление весной $R_0 = 7,8$ МПа

Коэффициент, учитывающий реальный режим растяжения повторной нагрузкой $\alpha = 6,3$ [1, табл. П.3.1]

Коэффициент, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя $m = 4$ [1, табл. П.3.1]

Коэффициент, учитывающий влияние на прочность усталостных процессов [1, формула 3.18]

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{(\sum N_p)}} = \frac{6,3}{\sqrt[4]{(3000000)}} = 0,151$$

Коэффициент снижения прочности $k_2 = 0,8$

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе [1, формула 3.17]

$$R_n = R_0 \times k_1 \times k_2 \times (1 - v_r \times t) = 7,8 \times 0,151 \times 0,8 \times (1 - 0,1 \times 1,71) = 0,783 \text{ МПа}$$

$$E_b = \frac{\sum_{i=1}^2 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^2 h_i} = \frac{3400 \times 5 + 2200 \times 8}{5 + 8} = 2661,5 \text{ МПа}$$

Общий модуль упругости основания $E_{\text{общ}} = 305,3 \text{ МПа}$

Растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчётных диаметрах площадки, передающей нагрузку [1, номогр. 3.4]

$$\frac{E_b}{E_{\text{общ}}} = \frac{2661,5}{305,3} = 8,7; \quad \frac{h}{D} = \frac{13}{39} = 0,33; \quad \bar{\sigma}_r = 1,44 \text{ МПа}$$

Расчётное напряжение [1, формула 3.16]

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \times p \times k_b = 1,44 \times 0,6 \times 0,85 = 0,737 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{R_n}{\sigma_r} = \frac{0,783}{0,737} = 1,06; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{1,06 - 1}{1} \times 100\% = 6,29\%$$

Результаты расчёта на морозоустойчивость

Материал грунта: Суглинок лёгкий

Группа грунта по степени пучинистости 2

Высота насыпи 2 м, уровень грунтовых вод 5 м, толщина конструкции 0,63 м

Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды) $H_y = 2 \text{ м} + 5 \text{ м} - 0,63 \text{ м} = 6,37 \text{ м}$

Величина морозного пучения при усреднённых условиях и глубине промерзания 1,60 м [1, номогр. 4.3]

$$l_{\text{пуч.ср.2}} = 2,58 \text{ см}$$

Коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод [1, номогр. 4.1]

$$K_{\text{угв}} = 0,54$$

Коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя [1, табл. 4.4]

$$K_{\text{пл}} = 1$$

Коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта [1, табл. 4.5]

$$K_{\text{гр}} = 1,3$$

Коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое [1, номогр. 4.2]

$$K_{\text{нагр}} = 0,99$$

Коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта [1, табл. 4.6]

$$K_{\text{вл}} = 1,1$$

Величина возможного морозного пучения [1, формула 4.2]

$$l_{\text{пуч}} = l_{\text{пуч.ср.}} \times K_{\text{угв}} \times K_{\text{пл}} \times K_{\text{гр}} \times K_{\text{нагр}} \times K_{\text{вл}} = 2,58 \times 0,54 \times 1 \times 1,3 \times 0,99 \times 1,1 = 1,97 \text{ см}$$

$$l_{\text{доп.}} = 4 \text{ см [1, табл. 4.3]}$$

Ожидаемая пучинистость грунта $1,97 \text{ см} < 80\%$ от допустимой $4,00 \text{ см}$

Морозоустойчивость конструкции обеспечена.

Список нормативных документов

1. ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд.
2. ОДМ 218.5.003-2010 Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог.