

Расчёт конструкции дорожной одежды

Исходные данные

Название объекта: Гулистон туман Ахиллик маҳалласи худудидан оқиб ўтувчи "Сирдарё" дарёсининг
 10,9 га ер майдонида туризм хизмат кўрсатиш комплексини ташкил этиш
 Район проектирования: р. Гулистон
 Выполняемые расчёты: На упругий прогиб, сдвиг, изгиб, стат. нагрузку, морозоустойчивость
 Дорожно-климатическая зона: IV
 Отметка местности над уровнем моря, м: 600
 Схема увлажнения: Схема 3
 Расчётная влажность грунта W_p : 0,65
 Коэффициент уплотнения грунта: 0,97
 Глубина промерзания дорожной конструкции, м: 0,66
 Средняя многолетняя глубина промерзания, м: 0,48
 Высота насыпи: 0,00 м

Проектные данные

Техническая категория дороги: IV категория
 Тип дорожной одежды: Капитальный

Требуемые коэффициенты прочности при заданной надёжности $K_n = 0,9$ [1, табл. 4]:
 Требуемый $K_{пр}$ (упругий прогиб): 1
 Требуемый $K_{пр}$ (сдвиг, изгиб): 0,94
 Коэффициент нормированного отклонения $t = 1,32$

Расчётный срок службы $T_{сл}$, лет: 10 Ширина
 проезжей части, м: 5,0
 Число полос движения (в обе стороны): 2
 Номер расчётной полосы от обочины: 1

Расчётная нагрузка

Группа расчётной нагрузки A10 [1, табл. П.А.1]:
 Давление в шине p , МПа: 0,6
 Диаметр отпечатка шины $D_{дин.}$, см: 37,00
 Статическая нагрузка на ось $Q_{ст}$, кН: 100,00
 Статическая нагрузка от колеса на поверхность Q_n , кН: 50,00

Суммарное число приложений нагрузки

$\sum N_p = 109500$ ед.

Требуемый модуль упругости

$$E_{тр} = \frac{p}{0,6} \times 98,65 \times (\lg \sum N_p - c) = \frac{0,6}{0,6} \times 98,65 \times (\lg 109500 - 3,55) \approx 146,93 \text{ МПа}$$

Требуемый модуль упругости $E_{тр} = 250$ МПа [1, табл. 7]

Вариант № 1

1) Конструктивный слой № 1: 5,0 см

Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки, из щебёночной (гравийной) смеси типа Б, марка битума БНД/БН-60/90

2) Конструктивный слой № 2: 7,0 см

Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-60/90

3) Верхний слой основания: 20,0 см

Гравийно-песчаная смесь С5 - 40 мм (для оснований) ГОСТ 25607-2009й

4) Нижний слой основания: 20,0 см

Гравийно-песчаная смесь С5 - 40 мм (для оснований) ГОСТ 25607-2009й

Грунт земляного полотна

Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции

 $E = 65,0$ МПа, $\varphi = 27,00^\circ$, $\varphi_{\text{стат.}} = 27,00^\circ$, $c = 0,00500$ МПа

Расчёт на упругий прогиб

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

[1, номогр. 7.1]

$$\frac{E_H}{E_B} = \frac{E_T}{E_A} = \frac{6}{260} = 0,25; \quad \frac{h_B}{D} = \frac{h_4}{D} = \frac{20}{37} = 0,5405; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_B} = \frac{E^3_{\text{пов}}}{E_A} \approx 0,42832$$

$$E^3_{\text{пов}} = 0,42832 \times 260 = 111,36 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 7.1]

$$\frac{E_H}{E_B} = \frac{E_A}{E_3} = \frac{111,36}{260} = 0,4283; \quad \frac{h_B}{D} = \frac{h_3}{D} = \frac{20}{37} = 0,5405; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_B} = \frac{E^2_{\text{пов}}}{E_3} \approx 0,61143$$

$$E^2_{\text{пов}} = 0,61143 \times 260 = 158,97 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 7.1]

$$\frac{E_H}{E_B} = \frac{E_3}{E_2} = \frac{158,97}{2000} = 0,0795; \quad \frac{h_B}{D} = \frac{h_2}{D} = \frac{7}{37} = 0,1892; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_B} = \frac{E^1_{\text{пов}}}{E_2} \approx 0,10818$$

$$E^1_{\text{пов}} = 0,10818 \times 2000 = 216,36 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 7.1]

$$\frac{E_H}{E_B} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{216,36}{3200} = 0,0676; \quad \frac{h_B}{D} = \frac{h_1}{D} = \frac{5}{37} = 0,1351; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_B} = \frac{E^0_{\text{пов}}}{E_1} \approx 0,08371$$

$$E^0_{\text{пов}} = 0,08371 \times 3200 = 267,87 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{тр}}} = \frac{267,87}{250} = 1,07; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{1,07 - 1}{1} \times 100\% = 7\%$$

Прочность по критерию допустимого упругого прогиба конструкции обеспечена.

Расчёт на сдвигустойчивость

Грунт земляного полотна

Материал: Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции

 $E = 65,0$ МПа, $\varphi = 27,00^\circ$, $\varphi_{\text{стат.}} = 27,00^\circ$, $c = 0,00500$ МПа Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 7.12]:

$$E_B = \frac{\sum_{i=1}^4 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^4 h_i} = \frac{650 \times 5 + 552 \times 7 + 260 \times 20 + 260 \times 20}{5 + 7 + 20 + 20} = 336,8 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 7.2]:

$$\frac{E_B}{E_{\text{общ}}} = \frac{336,8}{65} = 5,18; \quad \frac{h_B}{D} = \frac{52}{37} = 1,41; \quad \tau \approx 0,02577 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 7.13]

$$T = \tau_n \times p = 0,02577 \times 0,6 = 0,01546 \text{ МПа}$$

Коэффициент $k_d = 2$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$Z_{\text{оп}} = 5 + 7 + 20 + 20 = 52 \text{ см Средневзвешенный}$$

удельный вес слоёв, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{2400 \times 5 + 2300 \times 7 + 2000 \times 20 + 2000 \times 20}{5 + 7 + 20 + 20} = 2078,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,002079 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 7.14]

$$T_{\text{пр}} = k_d \times c_n + 0,1 \times \gamma_{\text{ср}} \times Z_{\text{оп}} \times \operatorname{tg} \varphi_{\text{стат.}} = 2 \times 0,005 + 0,1 \times 0,002079 \times 52 \times \operatorname{tg} 27^\circ \approx 0,01551 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,01551}{0,01546} = 1; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{1 - 0,94}{0,94} \times 100\% = 6,4\%$$

Прочность по критерию сдвигоустойчивости грунта земляного полотна обеспечена.

Расчёт на статическую нагрузку**Грунт земляного полотна**

Материал: Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции

 $E = 65,0$ МПа, $\varphi = 27,00^\circ$, $\varphi_{\text{стат.}} = 27,00^\circ$, $c = 0,00500$ МПа Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 7.12]:

$$E_B = \frac{\sum_{i=1}^4 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^4 h_i} = \frac{300 \times 5 + 280 \times 7 + 260 \times 20 + 260 \times 20}{5 + 7 + 20 + 20} = 266,5 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 7.2]:

$$\frac{E_B}{E_{\text{общ}}} = \frac{266,5}{65} = 4,1; \quad \frac{h_B}{D} = \frac{52}{33} = 1,58; \quad \tau \approx 0,02727 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 7.13]

$$T = \tau_n \times p = 0,02727 \times 0,6 = 0,01636 \text{ МПа}$$

Коэффициент $k_d = 2$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$Z_{\text{оп}} = 5 + 7 + 20 + 20 = 52 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоёв, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{cp} = \frac{2400 \times 5 + 2300 \times 7 + 2000 \times 20 + 2000 \times 20}{5 + 7 + 20 + 20} = 2078,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,002079 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 7.14]

$$\tau_{пр} = k_d \times c_n + 0,1 \times \gamma_{cp} \times z_{оп} \times \operatorname{tg} \varphi_{стат.} = 2 \times 0,005 + 0,1 \times 0,002079 \times 52 \times \operatorname{tg} 27^\circ \approx 0,01551 \text{ МПа}$$

$$K_{расч} = \frac{\tau_{пр}}{\tau} = \frac{0,01551}{0,01636} = 0,95; \quad \frac{K_{расч} - K_{тр}}{K_{тр}} \times 100\% = \frac{0,95 - 0,94}{0,94} \times 100\% = 1,1\%$$

Прочность по критерию сдвигоустойчивости грунта земляного полотна обеспечена.

Расчёт на изгиб

Материал нижнего слоя монолитного блока: Асфальтобетон горячей укладки пористый I марки из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-60/90

Нормативное сопротивление весной $R_0 = 8 \text{ МПа}$

Коэффициент, учитывающий реальный режим растяжения повторной нагрузкой $\alpha = 7,1$ [1, табл. П.С.1]

Коэффициент, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя $m = 4,3$ [1, табл. П.С.1]

Коэффициент, учитывающий влияние на прочность усталостных процессов [1, формула 7.18]

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{L \cdot N_p}} = \frac{7,1}{\sqrt[4,3]{109500}} = 0,478$$

Коэффициент снижения прочности $k_2 = 0,8$

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе [1, формула 7.17]

$$R_n = R_0 \times k_1 \times k_2 \times (1 - \nu \times l) = 8 \times 0,478 \times 0,8 \times (1 - 0,1 \times 1,32) = 2,655 \text{ МПа}$$

$$E_b = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} = \frac{4500 \times 5 + 2800 \times 7}{5 + 7} = 3508,3 \text{ МПа}$$

Общий модуль упругости основания $E_{общ} = 159,0 \text{ МПа}$

Растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчётных диаметрах площадки, передающей нагрузку [1, номогр. 7.4]

$$\frac{E_b}{E_{общ}} = \frac{3508,3}{159} = 22,1; \quad \frac{h}{D} = \frac{12}{37} = 0,32; \quad \sigma_r = 2,61 \text{ МПа}$$

Расчётное напряжение [1, формула 7.16]

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \times p \times k_b = 2,61 \times 0,6 \times 0,85 = 1,33 \text{ МПа}$$

$$K_{расч} = \frac{R_n}{\sigma} = \frac{2,655}{1,33} = 2; \quad \frac{K_{расч} - K_{тр}}{K_{тр}} \times 100\% = \frac{2 - 0,94}{0,94} \times 100\% = 112,4\%$$

Прочность по критерию растяжения при изгибе монолитных слоёв конструкции обеспечена.

Результаты расчёта на морозоустойчивость

Материал грунта: Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции

Группа грунта по степени пучинистости 2

Высота насыпи 0 м, уровень грунтовых вод 2 м, толщина конструкции 0,52 м

Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды) $H_y = 0 \text{ м} + 2 \text{ м} = 2 \text{ м}$

Величина морозного пучения при усреднённых условиях и глубине промерзания 0,66 м [1, номогр. 8.3]

$L_{пуч.ср,2} = 1,65 \text{ см}$

Коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод [1, номогр. 8.1]

$$K_{\text{утв}} = 0,5247$$

Коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя [1, табл. 8.4]

$$K_{\text{пл}} = 1,1$$

Коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта [1, табл. 8.5]

$$K_{\text{гр}} = 1,1$$

Коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое [1, номогр. 8.2]

$$K_{\text{нагр}} = 1,4$$

Коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта [1, табл. 8.6]

$$K_{\text{вл}} = 1,05$$

Величина возможного морозного пучения [1, формула 8.2]

$$I_{\text{пуч}} = I_{\text{пуч.ср.}} \times K_{\text{утв}} \times K_{\text{пл}} \times K_{\text{гр}} \times K_{\text{нагр}} \times K_{\text{вл}} = 1,65 \times 0,5247 \times 1,1 \times 1,1 \times 1,4 \times 1,05 = 1,54 \text{ см}$$

$$I_{\text{доп.}} = 4 \text{ см [1, табл. 8.3]}$$

Ожидаемая пучинистость грунта $1,54 \text{ см} < 80\%$ от допустимой $4,00 \text{ см}$

Морозоустойчивость конструкции обеспечена.

Список нормативных документов

1. ИКН 46–2021. Инструкция по проектированию нежестких дорожных одежд. — Взамен МКН 46–08; введ. 2021–12–21. — Ташкент, 2021. — 123 с.