

## Расчёт конструкции дорожной одежды

### Исходные данные

Название объекта: Капитальный ремонт автомобильной дороги "Шацк-Тамбов, Рязанская область"

Район проектирования: Рязанская область

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

Дорожно-климатическая зона: III - подзона 1

Схема увлажнения: Схема 1

Расчётная влажность грунта  $W_p$ : 0,65

Коэффициент уплотнения грунта: 0,99

Глубина промерзания грунтов, м: 1,40

### 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: 12,0

### 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

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

## Применение технологии "ANT"

Расчётные параметры конструкции на момент замера фактического числа приложений расчётной нагрузки (на 1 год службы)

### 1) Конструктивный слой № 1: 15,0 см

Многослойное асфальтобетонное покрытие. Значительное разрушение слоя. Наличие ям, колеи, трещин. Состояние покрытия - неудовлетворительное. ,  $E = 700,0$  МПа

### 2) Конструктивный слой № 2: 25,0 см

Щебень известняковый фр. 5-80 мм с содержанием известняковой муки более 30%,  $E = 200,0$  МПа

### 3) Конструктивный слой № 3: 25,0 см

Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%

$E = 70,0$  МПа,  $\phi = 26,00^\circ$ ,  $\phi_{\text{стат.}} = 33,00^\circ$ ,  $c = 0,00200$  МПа

### Грунт земляного полотна

Суглинок лёгкий пылеватый

$E = 30,0$  МПа,  $\phi = 7,00^\circ$ ,  $\phi_{\text{стат.}} = 21,00^\circ$ ,  $c = 0,00900$  МПа

## Расчёт на упругий прогиб

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

[1, номогр. 3.1]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{г}}}{E_3} = \frac{30}{70} = 0,43; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_3}{D} = \frac{25}{39} = 0,64; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{пов}}^2}{E_3} \approx 0,6385$$

$$E_{\text{пов}}^2 = 0,6385 \times 70 = 44,7 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 3.1]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_3}{E_2} = \frac{44,7}{200} = 0,22; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_2}{D} = \frac{25}{39} = 0,64; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{пов}}^1}{E_2} \approx 0,4324$$

$$E_{\text{пов}}^1 = 0,4324 \times 200 = 86,48 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 3.1]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{86,48}{700} = 0,12; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_1}{D} = \frac{15}{39} = 0,38; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{пов}}^0}{E_1} \approx 0,2206$$

$$E_{\text{пов}}^0 = 0,2206 \times 700 = 154,42 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{тр}}} = \frac{154,42}{318,36} = 0,49; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{0,49 - 1,17}{1,17} \times 100\% = -58,12\%$$

## Расчёт на сдвигустойчивость

### Конструктивный слой № 3

Материал: Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%

$E = 70,0$  МПа,  $\phi = 26,00^\circ$ ,  $\phi_{\text{стат.}} = 33,00^\circ$ ,  $c = 0,00200$  МПа

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

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^2 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^2 h_i} = \frac{200 \times 15 + 200 \times 25}{15 + 25} = 200 \text{ МПа}$$

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

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{200}{44,7} = 4,47; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{40}{39} = 1,03; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,0517 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 3.13]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p = 0,0517 \times 0,6 = 0,031 \text{ МПа}$$

Коэффициент  $k_d = 2$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{\text{оп}} = 15 + 25 = 40 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоёв, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{2300 \times 15 + 1600 \times 25}{15 + 25} = 1863 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,0019 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 3.14]

$$T_{\text{пр}} = k_d \times c_n + 0,1 \times \gamma_{\text{ср}} \times z_{\text{оп}} \times \text{tg} \phi_{\text{стат.}} = 2 \times 0,002 + 0,1 \times 0,0019 \times 40 \times \text{tg} 33^\circ \approx 0,0088 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0088}{0,031} = 0,28; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{0,28 - 1}{1} \times 100\% = -72\%$$

### Грунт земляного полотна

Материал: Суглинок лёгкий пылеватый

$E = 30,0$  МПа,  $\phi = 7,00^\circ$ ,  $\phi_{\text{стат.}} = 21,00^\circ$ ,  $c = 0,00900$  МПа

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

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{200 \times 15 + 200 \times 25 + 70 \times 25}{15 + 25 + 25} = 150 \text{ МПа}$$

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

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{150}{30} = 5; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{65}{39} = 1,67; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,0358 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 3.13]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p = 0,0358 \times 0,6 = 0,0215 \text{ МПа}$$

Коэффициент  $k_d = 1$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{\text{оп}} = 15 + 25 + 25 = 65 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоёв, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{2300 \times 15 + 1600 \times 25 + 1950 \times 25}{15 + 25 + 25} = 1896 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,0019 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 3.14]

$$T_{\text{пр}} = k_d \times c_n + 0,1 \times \gamma_{\text{ср}} \times z_{\text{оп}} \times tg\phi_{\text{стат.}} = 1 \times 0,009 + 0,1 \times 0,0019 \times 65 \times tg21^\circ \approx 0,0137 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0137}{0,0215} = 0,64; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{0,64 - 1}{1} \times 100\% = -36\%$$

### Расчёт на статическую нагрузку

#### Конструктивный слой № 3

Материал: Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%

$E = 70,0 \text{ МПа}$ ,  $\phi = 26,00^\circ$ ,  $\phi_{\text{стат.}} = 33,00^\circ$ ,  $c = 0,00200 \text{ МПа}$

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

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^2 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^2 h_i} = \frac{200 \times 15 + 200 \times 25}{15 + 25} = 200 \text{ МПа}$$

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

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{200}{44,7} = 4,47; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{40}{34} = 1,18; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,0323 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 3.13]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p = 0,0323 \times 0,6 = 0,0194 \text{ МПа}$$

Коэффициент  $k_d = 2$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{\text{оп}} = 15 + 25 = 40 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоёв, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{2300 \times 15 + 1600 \times 25}{15 + 25} = 1863 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,0019 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 3.14]

$$T_{\text{пр}} = k_d \times c_n + 0,1 \times \gamma_{\text{ср}} \times z_{\text{оп}} \times tg\phi_{\text{стат.}} = 2 \times 0,005 + 0,1 \times 0,0019 \times 40 \times tg33^\circ \approx 0,0148 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0148}{0,0194} = 0,77; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{0,77 - 1}{1} \times 100\% = -23\%$$

### Грунт земляного полотна

Материал: Суглинок лёгкий пылеватый

$E = 30,0$  МПа,  $\phi = 7,00^\circ$ ,  $\phi_{\text{стат.}} = 21,00^\circ$ ,  $c = 0,00900$  МПа

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

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{200 \times 15 + 200 \times 25 + 70 \times 25}{15 + 25 + 25} = 150 \text{ МПа}$$

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

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{150}{30} = 5; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{65}{34} = 1,91; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,0183 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 3.13]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p = 0,0183 \times 0,6 = 0,011 \text{ МПа}$$

Коэффициент  $k_d = 1$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{\text{оп}} = 15 + 25 + 25 = 65 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоёв, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{2300 \times 15 + 1600 \times 25 + 1950 \times 25}{15 + 25 + 25} = 1896 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,0019 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 3.14]

$$T_{\text{пр}} = k_d \times c_n + 0,1 \times \gamma_{\text{ср}} \times z_{\text{оп}} \times \text{tg} \phi_{\text{стат.}} = 1 \times 0,024 + 0,1 \times 0,0019 \times 65 \times \text{tg} 21^\circ \approx 0,0287 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0287}{0,011} = 2,61; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{2,61 - 1}{1} \times 100\% = 161\%$$

### Расчёт на изгиб

Материал нижнего слоя монолитного блока: Многослойное асфальтобетонное покрытие. Значительное разрушение слоя. Наличие ям, колеи, трещин. Состояние покрытия - неудовлетворительное.

Нормативное сопротивление весной  $R_0 = 8$  МПа

Коэффициент, учитывающий реальный режим растяжения повторной нагрузкой  $\alpha = 7,1$  [1, табл. П.3.1]

Коэффициент, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя  $m = 4,3$  [1, табл. П.3.1]

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

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{(\sum N_p)}} = \frac{7,1}{\sqrt[4,3]{(3000000)}} = 0,221$$

Коэффициент снижения прочности  $k_2 = 0,8$

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

$$R_n = R_0 \times k_1 \times k_2 \times (1 - v_r \times t) = 8 \times 0,221 \times 0,8 \times (1 - 0,1 \times 1,71) = 1,174 \text{ МПа}$$

$$E_b = \frac{\sum_{i=1}^1 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^1 h_i} = \frac{300 \times 15}{15} = 300 \text{ МПа}$$

Общий модуль упругости основания  $E_{\text{общ}} = 86,5 \text{ МПа}$

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

$$\frac{E_b}{E_{\text{общ}}} = \frac{300}{86,5} = 3,5; \quad \frac{h}{D} = \frac{15}{39} = 0,38; \quad \overline{\sigma_r} = 0,85 \text{ МПа}$$

Расчётное напряжение [1, формула 3.16]

$$\sigma_r = \overline{\sigma_r} \times p \times k_b = 0,85 \times 0,6 \times 0,85 = 0,436 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{R_n}{\sigma_r} = \frac{1,174}{0,436} = 2,7; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{2,7 - 1}{1} \times 100\% = 169,51\%$$

## Результаты расчёта на морозоустойчивость

Материал грунта: Суглинок лёгкий пылеватый

Группа грунта по степени пучинистости 3

Высота насыпи 2,5 м, уровень грунтовых вод 3 м, толщина конструкции 0,65 м

Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды)  $H_y = 2,5 \text{ м} + 3 \text{ м} - 0,65 \text{ м} = 4,85 \text{ м}$

Величина морозного пучения при усреднённых условиях и глубине промерзания 1,40 м [1, номогр. 4.3]

$$l_{\text{пуч.ср.2}} = 4,46 \text{ см}$$

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]

$$K_{\text{нагр}} = 1,04$$

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

$$K_{\text{вл}} = 1,05$$

Величина возможного морозного пучения [1, формула 4.2]

$$l_{\text{пуч}} = l_{\text{пуч.ср.}} \times K_{\text{угв}} \times K_{\text{пл}} \times K_{\text{гр}} \times K_{\text{нагр}} \times K_{\text{вл}} = 4,46 \times 0,54 \times 1 \times 1,3 \times 1,04 \times 1,05 = 3,41 \text{ см}$$

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

Ожидаемая пучинистость грунта 3,41 см > 80% от допустимой 4,00 см

**Морозоустойчивость конструкции не обеспечена!**

Требуется увеличить суммарную толщину дорожной одежды или применить морозо-защитный слой.

### **Список нормативных документов**

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