

Расчёт конструкции дорожной одежды

Исходные данные

Название объекта: Строительство автодороги IV категории с применением общепринятой технологии..
Район проектирования: Ленинградская область
Выполняемые расчёты: На упругий прогиб, изгиб, стат. нагрузку, морозоустойчивость
Дорожно-климатическая зона: II - подзона 1
Схема увлажнения: Схема 1
Расчётная влажность грунта W_p : 0,65
Коэффициент уплотнения грунта: 0,99
Глубина промерзания грунтов, м: 1,50

Проектные данные

Техническая категория дороги: IV категория
Тип дорожной одежды: Облегчённый

Требуемые коэффициенты прочности при заданной надёжности $K_n = 0,85$ [1, табл. 11]:
Требуемый $K_{пр}$ (упругий прогиб): 1,06
Требуемый $K_{пр}$ (сдвиг, изгиб): 0,94
Коэффициент нормированного отклонения $t = 1,06$

Расчётный срок службы $T_{сл}$, лет: 10
Ширина проезжей части, м: 6,0

Расчётная нагрузка

Группа расчётной нагрузки № 1 [1, табл. 3]:
Давление в шине p , МПа: 0,60
Диаметр отпечатка шины $D_{дин.}$, см: 37,00
Статическая нагрузка на ось Q , кН: 100,00

Суммарное число приложений нагрузки

Требуемый модуль упругости $E_{тр} = 200$ МПа

$$\sum N_p = 10^{E_{тр}/98,65 + c} = 10^{200/98,65 + 3,55} \approx 377893,56 \text{ ед.}$$

Вариант №1 Применение общепринятых технологий

1) Покрытие: 4,0 см

Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебёночной (гравийной) смеси типа Б, марка битума БНД/БН-60/90, $E = 3200,0$ МПа

2) Покрытие: 6,0 см

Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-60/90, $E = 2000,0$ МПа

3) Основание: 25,0 см

Щебень фракционированный 40..80 (80..120) мм трудноуплотняемый с заклиной фракционированным мелким щебнем, $E = 350,0$ МПа

4) Основание: 20,0 см

Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%, $E = 120,0$ МПа

Грунт земляного полотна

Суглинок тяжёлый, $E = 50,0$ МПа

Расчёт на упругий прогиб

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

[1, номогр. 4]

$$\frac{E_H}{E_B} = \frac{E_\Gamma}{E_4} = \frac{50}{120} = 0,417; \quad \frac{h_B}{D} = \frac{h_4}{D} = \frac{20}{37} = 0,541; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_B} = \frac{E_{\text{пов}}^3}{E_4} \approx 0,6021$$

$$E_{\text{пов}}^3 = 0,6021 \times 120 = 72,25 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 4]

$$\frac{E_H}{E_B} = \frac{E_4}{E_3} = \frac{72,25}{350} = 0,206; \quad \frac{h_B}{D} = \frac{h_3}{D} = \frac{25}{37} = 0,676; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_B} = \frac{E_{\text{пов}}^2}{E_3} \approx 0,4231$$

$$E_{\text{пов}}^2 = 0,4231 \times 350 = 148,08 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 4]

$$\frac{E_H}{E_B} = \frac{E_3}{E_2} = \frac{148,08}{2000} = 0,074; \quad \frac{h_B}{D} = \frac{h_2}{D} = \frac{6}{37} = 0,162; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_B} = \frac{E_{\text{пов}}^1}{E_2} \approx 0,0963$$

$$E_{\text{пов}}^1 = 0,0963 \times 2000 = 192,6 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 4]

$$\frac{E_H}{E_B} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{192,6}{3200} = 0,06; \quad \frac{h_B}{D} = \frac{h_1}{D} = \frac{4}{37} = 0,108; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_B} = \frac{E_{\text{пов}}^0}{E_1} \approx 0,0713$$

$$E_{\text{пов}}^0 = 0,0713 \times 3200 = 228,16 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{тр}}} = \frac{228,16}{200} = 1,14; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{1,14 - 1,06}{1,06} \times 100\% = 7,55\%$$

Расчёт на статическую нагрузку

Основание

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

$E = 120,0$ МПа, $\phi = 27,38^\circ$, $\phi_{\text{стат.}} = 33,00^\circ$, $c = 0,00269$ МПа

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 16]:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{400 \times 4 + 360 \times 6 + 350 \times 25}{4 + 6 + 25} = 357,4 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 5, 6]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{357,4}{72,3} = 4,95; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{35}{33} = 1,06; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,0343 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 14]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p = 0,0343 \times 0,6 = 0,0206 \text{ МПа}$$

Коэффициент $k_d = 2$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{\text{оп}} = 4 + 6 + 25 = 35 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоёв, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{2400 \times 4 + 2300 \times 6 + 1600 \times 25}{4 + 6 + 25} = 1811 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,0018 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 3.14]

$$T_{\text{пр}} = k_d \times (c_n + 0,1 \times \gamma_{\text{ср}} \times z_{\text{оп}} \times tg\phi_{\text{стат.}}) = 2 \times (0,005 + 0,1 \times 0,0018 \times 35 \times tg33^\circ) \approx 0,0182 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0182}{0,0206} = 0,89; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{0,89 - 0,94}{0,94} \times 100\% = -5,3\%$$

Грунт земляного полотна

Материал: Суглинок тяжёлый

$E = 50,0$ МПа, $\phi = 7,69^\circ$, $\phi_{\text{стат.}} = 21,00^\circ$, $c = 0,01038$ МПа

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [1, формула 16]:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^4 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^4 h_i} = \frac{400 \times 4 + 360 \times 6 + 350 \times 25 + 120 \times 20}{4 + 6 + 25 + 20} = 271,1 \text{ МПа}$$

Удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки [1, номогр. 5, 6]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{271,1}{50} = 5,42; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{55}{33} = 1,67; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,0221 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 14]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p = 0,0221 \times 0,6 = 0,0132 \text{ МПа}$$

Коэффициент $k_d = 1$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{\text{оп}} = 4 + 6 + 25 + 20 = 55 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоёв, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{2400 \times 4 + 2300 \times 6 + 1600 \times 25 + 1950 \times 20}{4 + 6 + 25 + 20} = 1862 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,0019 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 3.14]

$$T_{\text{пр}} = k_d \times (c_n + 0,1 \times \gamma_{\text{ср}} \times z_{\text{оп}} \times tg\phi_{\text{срат.}}) = 1 \times (0,024 + 0,1 \times 0,0019 \times 55 \times tg21^\circ) \approx 0,0279 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0279}{0,0132} = 2,11; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{2,11 - 0,94}{0,94} \times 100\% = 124,5\%$$

Расчёт на изгиб

Материал нижнего слоя монолитного блока: Асфальтобетон горячей укладки пористый II 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 $\alpha = 5,9$ [1, табл. В.4]

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

Коэффициент, учитывающий влияние на прочность усталостных процессов [1, формула 19]

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{(\sum N_p)}} = \frac{5,9}{\sqrt[4,3]{(377894)}} = 0,298$$

Коэффициент снижения прочности $k_2 = 0,8$

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе [1, формула 18]

$$R_n = R_0 \times k_1 \times k_2 \times (1 - v_r \times t) = 8 \times 0,298 \times 0,8 \times (1 - 0,1 \times 1,06) = 1,703 \text{ МПа}$$

$$E_b = \frac{\sum_{i=1}^2 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^2 h_i} = \frac{4500 \times 4 + 2800 \times 6}{4 + 6} = 3480 \text{ МПа}$$

Общий модуль упругости основания $E_{\text{общ}} = 148,1 \text{ МПа}$

Растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчётных диаметрах площадки, передающей нагрузку [1, номогр. 9]

$$\frac{E_b}{E_{\text{общ}}} = \frac{3480}{148,1} = 23,5; \quad \frac{h}{D} = \frac{10}{37} = 0,27; \quad \bar{\sigma}_r = 3,07 \text{ МПа}$$

Расчётное напряжение [1, формула 20]

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \times p \times k_b = 3,07 \times 0,6 \times 0,85 = 1,565 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{R_n}{\sigma_r} = \frac{1,703}{1,565} = 1,09; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{1,09 - 0,94}{0,94} \times 100\% = 15,81\%$$

Результаты расчёта на морозоустойчивость

Материал грунта: Суглинок тяжёлый

Группа грунта по степени пучинистости 3

Высота насыпи 1 м, уровень грунтовых вод 5 м, толщина конструкции 0,55 м

Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды) $H_y = 1 \text{ м} + 5 \text{ м} - 0,55 \text{ м} = 5,45 \text{ м}$

Величина морозного пучения при усреднённых условиях и глубине промерзания 1,50 м [1, номогр. 11]

$l_{\text{пуч.ср.2}} = 5,17 \text{ см}$

Коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод [1, номогр. 12]

$K_{\text{угв}} = 0,54$

Коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя [1, табл. 19]

$K_{\text{пл}} = 1$

Коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта

$$K_{гр} = 1,3$$

Коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое [1, номогр. 13]

$$K_{нагр} = 1,01$$

Коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта [1, табл. 20]

$$K_{вл} = 1,05$$

Величина возможного морозного пучения [1, формула 26]

$$l_{пуч} = l_{пуч.ср.} \times K_{угв} \times K_{пл} \times K_{гр} \times K_{нагр} \times K_{вл} = 5,17 \times 0,54 \times 1 \times 1,3 \times 1,01 \times 1,05 = 3,86 \text{ см}$$

$$l_{доп.} = 6 \text{ см [1, табл. 15]}$$

Ожидаемая пучинистость грунта 3,86 см < допустимой 6,00 см

Морозоустойчивость конструкции обеспечена.

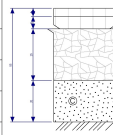
Исходные данные

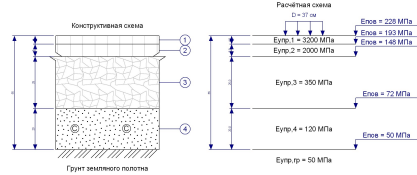
Название объекта	Строительство автодороги IV категории с применением обогрившей технологии.		
Район проектирования	Ленинградская область		
Выполненные расчеты	На утрупный грунт, магб. стат. нагрузку, кероустойчивость		
Техническое задание дороги	IV категория	Дорожно-техническая зона	II - подзона I
Тип дорожной одежды	Оболенный	Схема укладки слоев	Схема 1
Число полос движения (в обе стороны)	2	Коэффициент уплотнения грунта	0,99
Номер расчетной полосы от обочины	1	Суммарное число приравненной нагрузки	377894
Уклоны в местах перелома профиля, %		Расчетное количество дней в году Труд	140
Расчетная влажность грунта W _р	0,65	Расчетный срок службы Т _{ср} , лет	10
Нагрузка, кН / Давление, МПа / D шпала, см	100 / 0,60 / 37		
Заданная надежность N _н	0,85	Глубина промерзания грунтов, м	1,50

Состав транспортного потока

№	Транспортное средство	Интенсивность движения, авто/сут	Коэффициент преобразования	Поведенная интенсивность
1	Легковые автомобили	0	0	0
2	Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т	0	0,005	0
3	Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5 т	0	0,2	0
4	Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8 т	0	0,7	0
5	Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8 т	0	1,25	0
6	Автобусы	0	0,7	0
Итого		0		0

Показатель изменения интенсивности: 1,04
 Суммарное число приравненной нагрузки: 377894
 Требуемый модуль упругости: 200

№ варианта	Наименование слоев и материалов конструкции дорожной одежды	Схема конструкции дорожной одежды Толщина, см	Расчетные характеристики			Общая модуль упругости по вертикали слоев, МПа	Морозостойкость
			Утрупный грунт, МПа	Итого, МПа	Статическая нагрузка, МПа		
Вариант №1. Применение обогрившей технологии	1. Покрытие — Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебеночной (равнинной) смеси типа Б, марка битума БНД-ЕН-60/90		Етр = 3200	Еки = 4000	Естат = 400	Е _{ср} = 238 Е _{тр} = 1 000 К _{крас} = 1 140 З _{запас} = 8%	
	2. Покрытие — Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебеночной (равнинной) смеси марки битума БНД-60/90		Етр = 2000	Еки = 2800 Е _{тр} = 0 940 К _{крас} = 1 050 З _{запас} = 10%	Естат = 360	Е _{ср} = 193	
	3. Основание — Щебень фракционированный 40/80 (80/120) мм трудноуплотняемый с заглиной фракционированными мелкими щебнем		Етр = 350	Еки = 350	Естат = 350	Е _{ср} = 148	
	4. Основание — Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%		Етр = 120	Еки = 120	Естат = 120 Е _{тр} = 0 240 К _{крас} = 2 310 З _{запас} = 124%	Е _{ср} = 72	
	Грунт земельного полотна — Сулинка тяжелый		Етр = 50		Естат = 50 Е _{тр} = 0 040 К _{крас} = 2 110 З _{запас} = 124%	Е _{ср} = 50	Ц _{доп} = 6 см Ц _{нр} = 4 см З _{запас} = 2 см



- Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебеночной (равнинной) смеси типа Б, марка битума БНД-ЕН-60/90
- Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебеночной (равнинной) смеси марки битума БНД-60/90
- Щебень фракционированный 40/80 (80/120) мм трудноуплотняемый с заглиной фракционированными мелкими щебнем
- Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%

Технико-экономические характеристики конструкции дорожной одежды

Наименование материала	Ед. изм.	Стоимость, кв. кв.	Расход материала на 1000 п.м.	
			1 вариант	
			Количество	Стоимость
Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебеночной (равнинной) смеси типа Б, марка битума БНД-ЕН-60/90	м ³	1	400	400
Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебеночной (равнинной) смеси марки битума БНД-60/90	м ³	1	600	600
Щебень фракционированный 40/80 (80/120) мм трудноуплотняемый с заглиной фракционированными мелкими щебнем	м ³	1	2500	2500
Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%	м ³	1	2000	2000
Итоговая стоимость:	—	—	—	5500

Список нормативных документов

1. ПНСТ 265-2018. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд. — Введ. 2018-05-15 до 2021-05-15. — М.: Стандартиформ, 2018. — 78 с.