Расчёт конструкции дорожной одежды

Исходные данные

Название объекта: Проезд (тип 1)
Выполняемые расчёты: На упругий прогиб, сдвиг, изгиб, стат. нагрузку, морозоустойчивость
Дорожно-климатическая зона: V
Схема увлажнения: Схема 3

Расчётная влажность грунта

Среднее многолетнее значение относительной влажности грунта $W_{\text{таб}} = 0,64$
Коэффициент нормированного отклонения $t = 1,06$ [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] $W_{\text{р}} = W_{\text{таб}} \times (1+0,1\times t) = 0,64\times(1+0,1\times 1,06) = 0,71$

Коэффициент уплотнения грунта: 0,95
Глубина промерзания дорожной конструкции, м: 2,36
Средняя многолетняя глубина промерзания, м: 1,71
Высота насыпи: 0,00 м

Проектные данные

Техническая категориядороги: III категория
Типдорожнойодежды: облегченный

Требуемые коэффициенты прочности при заданной надёжности $K_{\text{н}} = 0,85$:
Требуемый $K_{\text{пр}}$ (упругий прогиб): 0,9
Требуемый $K_{\text{пр}}$ (сдвиг, изгиб): 0,9
Коэффициент нормированного отклонения $t = 1,06$

Расчётный срок службы $T_{\text{сл}}$, лет: 20
Ширина проезжей части, м: 6,0
Число полос движения (в обе стороны): 1
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 $E_{\text{тр}} = 160$ МПа

$$\sum N_{\text{р}} = 10^{(\text{E}_{\text{тр}}\cdot 120)/74\,+\,\text{c}} = 10^{(160\cdot 120)/74\,+\,4,5} \approx 109784,38 \text{ ед.}$$

Проезд (тип 1)

1) Верхний слой покрытия: 4,0 см
Асфальтобетон горячей укладки плотный, из щебёночной (гравийной) смеси типа Б, 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)

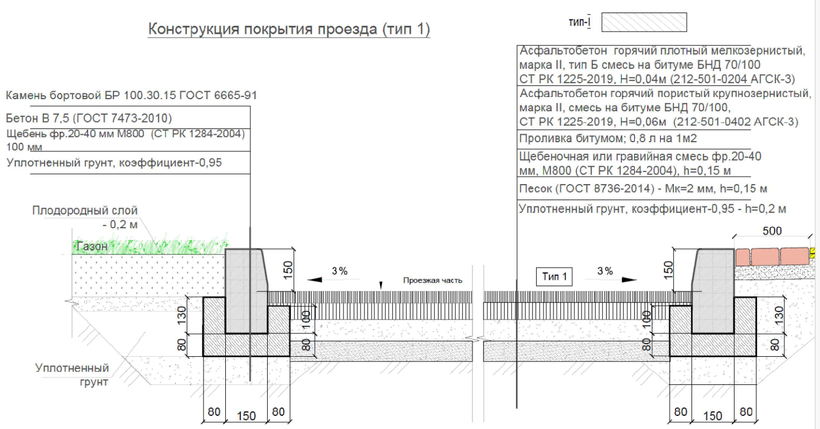
3) Основание: 15,0 см
Смеси щебёночные с непрерывной гранулометрией С5 - 40 мм (для оснований)

4) Дополнительный слой основания: 15,0 см
Песок средней крупности

Грунт земляного полотна
Супесь лёгкая

Узел применяемых дорожных одежд

Конструкция покрытия проезда (тип 1)



Расчёт на упругий прогиб

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

$$h_{\text{э}} = 2\times h_3 \times \sqrt[3]{\frac{E}{6\times E_{\text{пов}}}} = 2\times 15\times\sqrt[3]{\frac{120}{6\times 48,37}} = 22,35 \text{ см}$$

$$E^3{}_{\text{пов}} = \frac{\left(1,05-0,1\times\frac{h_3}{D}\times\left(1-\sqrt[3]{\frac{E_{\text{пов}}}{E_3}}\right)\right)\times E_3}{0,71\times\sqrt[3]{\frac{E_{\text{пов}}}{E_3}}\times\text{arctg}\left(\frac{1,35\times h_3}{D}\right)+\frac{E_3}{E_{\text{пов}}}\times\frac{2}{\pi}\times arctg\frac{D}{h_{\text{э}}}} =$$

$$\frac{\left(1,05-0,1\times\frac{15}{37}\times\left(1-\sqrt[3]{\frac{48,37}{120}}\right)\right)\times 120}{0,71\times\sqrt[3]{\frac{48,37}{120}}\times\text{arctg}\left(\frac{1,35\times 22,35}{37}\right)+\frac{120}{48,37}\times\frac{2}{\pi}\times arctg\frac{37}{22,35}} = 62,95 \text{ МПа}$$

$$h_{\text{э}} = 2\times h_2 \times \sqrt[3]{\frac{E}{6\times E_{\text{пов}}}} = 2\times 15\times\sqrt[3]{\frac{260}{6\times 62,95}} = 26,49 \text{ см}$$

$$E^2{}_{\text{пов}} = \frac{\left(1,05-0,1\times\frac{h_2}{D}\times\left(1-\sqrt[3]{\frac{E_{\text{пов}}}{E_2}}\right)\right)\times E_2}{0,71\times\sqrt[3]{\frac{E_{\text{пов}}}{E_2}}\times\text{arctg}\left(\frac{1,35\times h_2}{D}\right)+\frac{E_2}{E_{\text{пов}}}\times\frac{2}{\pi}\times arctg\frac{D}{h_{\text{э}}}} =$$

$$\frac{\left(1,05-0,1\times\frac{15}{37}\times\left(1-\sqrt[3]{\frac{62,95}{260}}\right)\right)\times 260}{0,71\times\sqrt[3]{\frac{62,95}{260}}\times\text{arctg}\left(\frac{1,35\times 26,49}{37}\right)+\frac{260}{62,95}\times\frac{2}{\pi}\times arctg\frac{37}{26,49}} = 94,84 \text{ МПа}$$

$$h_{\text{э}} = 2\times h_1 \times \sqrt[3]{\frac{E}{6\times E_{\text{пов}}}} = 2\times 6\times\sqrt[3]{\frac{2000}{6\times 94,84}} = 18,24 \text{ см}$$

$$E^1{}_{\text{пов}} = \frac{\left(1,05-0,1\times\frac{h_1}{D}\times\left(1-\sqrt[3]{\frac{E_{\text{пов}}}{E_1}}\right)\right)\times E_1}{0,71\times\sqrt[3]{\frac{E_{\text{пов}}}{E_1}}\times\text{arctg}\left(\frac{1,35\times h_3}{D}\right)+\frac{E_1}{E_{\text{пов}}}\times\frac{2}{\pi}\times arctg\frac{D}{h_{\text{э}}}} =$$

$$\frac{\left(1,05-0,1\times\frac{6}{37}\times\left(1-\sqrt[3]{\frac{94,84}{2000}}\right)\right)\times 2000}{0,71\times\sqrt[3]{\frac{94,84}{2000}}\times\text{arctg}\left(\frac{1,35\times 18,24}{37}\right)+\frac{2000}{94,84}\times\frac{2}{\pi}\times arctg\frac{37}{18,24}} = 137,81 \text{ МПа}$$

$$h_{\text{э}} = 2\times h_0 \times \sqrt[3]{\frac{E}{6\times E_{\text{пов}}}} = 2\times 4\times\sqrt[3]{\frac{3200}{6\times 137,81}} = 12,56 \text{ см}$$

$$E^0{}_{\text{пов}} = \frac{\left(1,05-0,1\times\frac{h_0}{D}\times\left(1-\sqrt[3]{\frac{E_{\text{пов}}}{E_0}}\right)\right)\times E_0}{0,71\times\sqrt[3]{\frac{E_{\text{пов}}}{E_0}}\times\text{arctg}\left(\frac{1,35\times h_3}{D}\right)+\frac{E_0}{E_{\text{пов}}}\times\frac{2}{\pi}\times arctg\frac{D}{h_{\text{э}}}} =$$

$$\frac{\left(1,05-0,1\times\frac{4}{37}\times\left(1-\sqrt[3]{\frac{137,81}{3200}}\right)\right)\times 3200}{0,71\times\sqrt[3]{\frac{137,81}{3200}}\times\text{arctg}\left(\frac{1,35\times 12,56}{37}\right)+\frac{3200}{137,81}\times\frac{2}{\pi}\times arctg\frac{37}{12,56}} = 180,51 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{тр}}} = \frac{180,51}{160} = 1,13;\quad \frac{K_{\text{расч}}-K_{\text{пр}}}{K_{\text{тр}}}\times 100\% = \frac{1,13-0,9}{0,9}\times 100\% = 25,56\%$$

Прочность по критерию допустимого упругого прогиба конструкции 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]

$$N_1 = N_{\text{р}} \times q^{T_{\text{сл}}-1} = 9\times 1,05^{20-1} = 22,74$$

Коэффициент усталости [1, формула 16]
Параметр уравнения $\phi = 0,16$

$$K_{\text{у}} = \left(\frac{N_1}{1000}\right)^{-\phi} = \left(\frac{22,7}{1000}\right)^{-0,16} = 1,83$$

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

$$R_{\text{п}} = R_0\times(1-v_{\text{г}}\times t)\times K_{\text{у}}\times k_2 = 1,6\times(1-0,1\times 1,06)\times 1,83\times 0,8 = 2,096 \text{ МПа}$$

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{2} E_i\times h_i}{\sum\limits_{i=1}^{2} h_i} = \frac{4500\times 4+2800\times 6}{4+6} = 3480 \text{ МПа}$$

Общий модуль упругости основания $E_{\text{общ}} = 94,8$ МПа
Растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчётных диаметрах площадки, передающей нагрузку [1, номогр. 6]

$$\frac{E_{\text{п}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{3480}{94,8} = 36,7;\quad \frac{h}{D} = \frac{10}{37} = 0,27;\quad \overline{\sigma_{\text{г}}} = 3,78 \text{ МПа}$$

Расчётное напряжение [1, формула 14]

$$\sigma_{\text{г}} = \overline{\sigma_{\text{г}}}\times p\times k_{\text{в}} = 3,78\times 0,6\times 0,85 = 1,926 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{R_{\text{п}}}{\sigma_{\text{г}}} = \frac{2,096}{1,926} = 1,09;\quad \frac{K_{\text{расч}}-K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}}\times 100\% = \frac{1,09-0,9}{0,9}\times 100\% = 20,92\%$$

Прочность по критерию растяжения при изгибе монолитных слоёв конструкции обеспечена.

Результаты расчёта на морозоустойчивость

Толщина стабильных слоёв дорожной одежды $z_1 = 40$ см
Показатель $\text{B} = 3,5$ см^2/
Климатический показатель [1, формула 19]

$$a_0 = \frac{(\overline{z}-z_1)^2}{2\times T_3} = \frac{(171-40)^2}{2\times 215} = 39,91$$

Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды) $H_{\text{у}} = 0$ м $+ 4,5$ м $= 4,5$ м
Ожидаемое пучение [1, номогр. 8]

$$\frac{z_1}{z} = \frac{40}{235,98} = 0,17;\ \frac{z}{H_{\text{утв}}} = \frac{235,98}{450} = 0,52;\ \frac{l_{\text{пуч}}\times a_0}{(B\times z)} = 0,26$$

$$l_{\text{пуч}} = \frac{0,26\times 3,5\times 235,98}{39,91} = 5,33$$

$$l_{\text{доп.}} = 4 \text{ см}$$

Материал грунта: Супесь лёгкая
Группа грунта по степени пучинистости 3
Высота насыпи 0 м, уровень грунтовых вод 4,5 м, толщина конструкции 0,25 м
Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды) $H_{\text{у}} = 0$ м $+ 4,5$ м $= 4,5$ м
Величина морозного пучения при усреднённых условиях и глубине промерзания 2,36 м

$$l_{\text{пуч.ср.}} = l_{\text{пуч.ср,2}}\times(a+b\times(z_{\text{пр}}-c)) = 9,23\times(1+0,16\times(2,36-2)) = 9,76 \text{ см}$$

Величина морозного пучения при усреднённых условиях и глубине промерзания 2,36 м [1, номогр. 11]
$l_{\text{пуч.ср,2}} = 9,23$ см
Коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод [1, номогр. 12]
$K_{\text{утв}} = 0,42$
Коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя [1, табл. 10]
$K_{\text{пл}} = 1,2$
Коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта
$K_{\text{гр}} = 1,1$
Коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое [1, номогр. 13]
$K_{\text{нагр}} = 0,76$
Коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта [1, табл. 13]
$K_{\text{вл}} = 1,11$
Величина возможного морозного пучения [1, формула 26]

$$l_{\text{пуч}} = l_{\text{пуч.ср.}}\times K_{\text{утв}}\times K_{\text{пл}}\times K_{\text{гр}}\times K_{\text{нагр}}\times K_{\text{вл}} = 9,76\times 0,42\times 1,2\times 1,1\times 0,76\times 1,11 = 4,55 \text{ см}$$

Ожидаемая пучинистость грунта 4,55 см > допустимой 4,00 см
Требуется проверить толщину морозозащитного слоя.
Требуемая средняя величина морозного пучения

$$l_{\text{пуч.ср}} = \frac{l_{\text{доп.}}}{K_{\text{утв}}\times K_{\text{пл}}\times K_{\text{гр}}\times K_{\text{нагр}}\times K_{\text{вл}}} = \frac{4}{0,42\times 1,2\times 1,1\times 0,76\times 1,11} = 8,6 \text{ см}$$

Требуемая толщина дорожной одежды $h_{\text{од}} = 31,52$ см, предварительная толщина морозозащтного слоя $h_{\text{из}} = 6,52$ см
Поскольку в период промерзания дорожной конструкции морозозащитный слой находится сначала в талом, а затем в мёрзлом состоянии, в расчёт вводят среднеарифметическое значение коэффициентов теплопроводности

$$\lambda_{\text{од(3) ср}} = \frac{\lambda_{\text{т}}+\lambda_{\text{м}}}{2} = \frac{1,91+2,44}{2} = 2,175$$

Термическое сопротивление дорожной одежды

$$R_{\text{од}} = \sum_{i=1}^{n}\frac{h_{\text{од(i)}}}{\lambda_{\text{од(i)}}} = \frac{4}{140}+\frac{6}{125}+\frac{15}{210} = 0,15 \text{ м}^2\cdot K/\text{Вт}$$

Коэффициент, учитывающий срок службы дорожной одежды между капитальными ремонтами [1, табл. 13]
$K_{\text{од}} = 1$
Коэффициент, учитывающий схему увлажнения рабочего слоя земляного полотна
$K_{\text{увл}} = 1$
Понижающий коэффициент $\delta = 0,85$
Коэффициент $C_{\text{пуч}} = 0,6$
Коэффициент $C_{\text{р}} = 0,6$
Приведённое термическое сопротивление [1, номогр. 15] $R_{\text{пр}} = 0,2$ м$^2\cdot K/$Вт
Требуемое термическое сопротивление

$$R_{\text{од.тр.}} = R_{\text{пр}}\times K_{\text{од}}\times K_{\text{увл}}\times\delta = 0,2\times 1\times 1\times 0,85 = 0,17 \text{ м}^2\cdot K/\text{Вт}$$

$$h_{\text{из}} = (R_{\text{од.тр.}}-R_{\text{од}})\times\lambda_{\text{из}} = (0,17-0,15)\times 2,17 = 4,35 \text{ см}$$

Разница междуздаными полученными значениями $h_{\text{из}}$ не превышает 5 см. Следовательно требуемая толщина морозозащитного слоя $h_{\text{из}} = 4,35$ см

Рисунок В.1 – Дорожно-климатическое районирование

						№02-2021-ГП		
						"Строительство инженерно-коммуникационных сетей и благоустройство 60-ти квартирного жилого дома по ул.Акын Сара в г.Уштобе Каратальского района Алматинской области"		
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата			
ГИП		Кузнецова В.			12.2020	Общеплощадочные материалы	Стадия	Лист	Листов
Выполнил		Маливан Н.			12.2020		Р П	1.1	
Проверил		Приходько О			12.2020				
						Общие данные (продолжение)	ТОО "Геодезия сервис" 2020 ©		

А2