

Исходные данные

Название объекта: Хором-Артик-Алагяз км 0+000-км 4+000 участок основных картографических работ подготовка проекта  
Выполняемые расчёты: На упругий прогиб, сдвиг, изгиб, морозоустойчивость  
Дорожно-климатическая зона: IV  
Схема увлажнения: Схема 1  
Расчётная влажность грунта  $W_p$ : 0,70  
Коэффициент уплотнения грунта: 0,97  
Глубина промерзания дорожной конструкции, м: 0,97  
Средняя многолетняя глубина промерзания, м: 0,70  
Высота насыпи: 0,00 м

Проектные данные

Техническая категория дороги: IV категория (Дороги общего пользования)  
Тип дорожной одежды: Облегчённый

Требуемые коэффициенты прочности при заданной надёжности  $K_n = 0,85$  [1, табл. 5]:  
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: 24  
Ширина проезжей части, м: 7,5  
Число полос движения (в обе стороны): 2  
Номер расчётной полосы от обочины: 1

Расчётная нагрузка

Группа расчётной нагрузки A10 [1, табл. 1]:  
Давление в шине  $p$ , МПа: 0,6  
Диаметр отпечатка шины  $D_{дин.}$ , см: 37,10  
Статическая нагрузка на ось  $Q_{ст}$ , кН: 100,00  
Статическая нагрузка от колеса на поверхность  $Q_n$ , кН: 50,00

Суммарное число приложений нагрузки

Тип участка дороги: Полоса движения  
Расчётное количество дней в году  $T_{рдг}$ : 205  
Показатель изменения интенсивности по годам  $q$ : 1,04  
Коэффициент, учитывающий вероятности отклонения суммарного движения  $k_n$ : 1,26  
Коэффициент суммирования [1, формула 5]:

$$K_c = \frac{q^{T_{сл}} - 1}{q - 1} = \frac{1,04^{24} - 1}{1,04 - 1} \approx 39,08$$

Коэффициент, учитывающий число полос и распределение движения по ним  $f_{пол}$ : 0,55

Состав движения

В Легковые автомобили, небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него (ПНСТ 541-2021): 150 шт.  
С1 Двухосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021): 30 шт.  
С2 Трёхосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021): 15 шт.  
С3 Четырёхосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021): 5 шт.  
D Автобусы (ПНСТ 541-2021): 10 шт.

Расчётная приведённая интенсивность

$$N_p = f_{пол} \times \sum_{m=1}^n N_m \times S_{m\ сум} = 0,55 \times (150 \times 0,013 + 30 \times 1,76 + 15 \times 2,43 + 5 \times 2,72 + 10 \times 1,98) \approx 69 \text{ ед./сут.}$$

Суммарное число приложений расчётной нагрузки на срок между капитальными ремонтами

$$\sum N_p = 0,7 \times N_p \times \frac{K_c}{q^{T_{сл}-1}} \times T_{рдг} \times k_n = 0,7 \times 69 \times \frac{39,08}{1,04^{24-1}} \times 205 \times 1,26 = 197815 \text{ ед.} \quad [1, \text{ формула 6}]$$

Требуемый модуль упругости

$$E_{тр} = \sqrt{\frac{p}{0,6}} \times 98,65 \times (\lg \sum N_p - c) = \sqrt{\frac{0,6}{0,6}} \times 98,65 \times (\lg 197815 - 3,55) \approx 172,27 \text{ МПа}$$

Требуемый модуль упругости  $E_{тр} = 180$  МПа [1, табл. 7]  
Суммарное число приложений расчётной нагрузки на межремонтный срок  
Срок службы между ремонтами  $T_{р.сл} = 12$  лет

$$\sum N_p = 0,7 \times N_p \times \frac{K_c}{q^{T_{сл}-1}} \times T_{рдг} \times k_n = 0,7 \times 69 \times \frac{15,03}{1,04^{12-1}} \times 365 \times 1,26 = 216871,7 \text{ ед.} \quad [1, \text{ формула 6}]$$

**1) Конструктивный слой № 1: 4,0 см**

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

**2) Конструктивный слой № 2: 6,0 см**

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

**3) Конструктивный слой № 3: 20,0 см**

ЩПС, ГПС, крупнообломочные грунты, обработанные цементом (см. ГОСТ 23558; ПНСТ 322-2019) совместно с модификатором «Акропол ГСМ» для дорожного и аэродромного строительства (см. СТО 64605427-2022), по прочности соответствующие марке 75

**Грунт земляного полотна**

Суглинок лёгкий пылеватый

**Расчёт на упругий прогиб**

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

[1, номогр. Е.1]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{г}}}{E_3} = \frac{46}{1300} = 0,0354; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_3}{D} = \frac{20}{37,1} = 0,5391; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{пов}}^2}{E_3} \approx 0,11517$$

$$E_{\text{пов}}^2 = 0,11517 \times 1300 = 149,72 \text{ МПа}$$

[1, номогр. Е.1]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_3}{E_2} = \frac{149,72}{2000} = 0,0749; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_2}{D} = \frac{6}{37,1} = 0,1617; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{пов}}^1}{E_2} \approx 0,09677$$

$$E_{\text{пов}}^1 = 0,09677 \times 2000 = 193,54 \text{ МПа}$$

[1, номогр. Е.1]

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{193,54}{3200} = 0,0605; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_1}{D} = \frac{4}{37,1} = 0,1078; \quad \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{пов}}^0}{E_1} \approx 0,07075$$

$$E_{\text{пов}}^0 = 0,07075 \times 3200 = 226,4 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{пов}}}{E_{\text{тр}}} = \frac{226,4}{180} = 1,26; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{1,26 - 1,06}{1,06} \times 100\% = 18,87\%$$

Прочность по критерию допустимого упругого прогиба конструкции обеспечена.

**Расчёт на сдвигоустойчивость**

**Грунт земляного полотна**

Материал: Суглинок лёгкий пылеватый

$E = 46,0 \text{ МПа}$ ,  $\phi = 9,00^\circ$ ,  $\phi_{\text{стат.}} = 25,00^\circ$ ,  $c = 0,00850 \text{ МПа}$

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

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{650 \times 4 + 552 \times 6 + 1300 \times 20}{4 + 6 + 20} = 1063,7 \text{ МПа}$$

[1, номогр. Е.13, Е.15]:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{1063,7}{46} = 23,12; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{30}{37,1} = 0,81; \quad \tau_{\text{н}} \approx 0,03956 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 14]

$$T = \tau_{\text{н}} \times p = 0,03956 \times 0,6 = 0,02373 \text{ МПа}$$

Коэффициент  $k_{\text{д}} = 2,2$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{\text{оп}} = 4 + 6 + 20 = 30 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоёв, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{2400 \times 4 + 2300 \times 6 + 2100 \times 20}{4 + 6 + 20} = 2180 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,00218 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 12]

$$T_{\text{пр}} = k_{\text{д}} \times (c_{\text{н}} + 0,1 \times \gamma_{\text{ср}} \times z_{\text{оп}} \times tg\phi_{\text{стат.}}) = 2,2 \times (0,008 + 0,1 \times 0,00218 \times 30 \times tg25^\circ) \approx 0,02431 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,02431}{0,02373} = 1,02; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{1,02 - 0,94}{0,94} \times 100\% = 8,5\%$$

Прочность по критерию сдвигоустойчивости грунта земляного полотна обеспечена.

**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  $R_0 = 8$  МПа

Коэффициент, учитывающий реальный режим растяжения повторной нагрузкой  $\alpha = 7,1$  [1, табл. Г.5]

Коэффициент, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя  $m = 4,3$  [1, табл. Г.5]

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

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{(\sum N_p)}} = \frac{7,1}{\sqrt[4,3]{(197815)}} = 0,416$$

Коэффициент снижения прочности  $k_2 = 0,8$

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

$$R_n = R_0 \times k_1 \times k_2 \times (1 - v_r \times t) = 8 \times 0,416 \times 0,8 \times (1 - 0,1 \times 1,06) = 2,383 \text{ МПа}$$

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

Общий модуль упругости основания  $E_{общ} = 149,7$  МПа

Растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчётных диаметрах площадки, передающей нагрузку [1, номогр. Е.52]

$$\frac{E_v}{E_{общ}} = \frac{3480}{149,7} = 23,2; \quad \frac{h}{D} = \frac{10}{37,1} = 0,27; \quad \overline{\sigma_r} = 3,64 \text{ МПа}$$

Расчётное напряжение [1, формула 20]

$$\sigma_r = \overline{\sigma_r} \times p \times k_v = 3,64 \times 0,6 \times 0,85 = 1,855 \text{ МПа}$$

$$K_{расч} = \frac{R_n}{\sigma_r} = \frac{2,383}{1,855} = 1,28; \quad \frac{K_{расч} - K_{тр}}{K_{тр}} \times 100\% = \frac{1,28 - 0,94}{0,94} \times 100\% = 36,63\%$$

Прочность по критерию растяжения при изгибе монолитных слоёв конструкции обеспечена.

**Результаты расчёта на морозоустойчивость**

Материал грунта: Суглинок лёгкий пылеватый

Группа грунта по степени пучинистости 3

Высота насыпи 0 м, уровень грунтовых вод 2 м, толщина конструкции 0,3 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 0,97 м [1, номогр. 6]

$l_{пуч.ср,2} = 4,41$  см

Коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод [1, номогр. 7]

$K_{угв} = 0,6$

Коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя [1, табл. 11]

$K_{пл} = 1,2$

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. 8]

$K_{нагр} = 0,2$

Коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта [1, табл. 12]

$K_{вл} = 1,1$

Величина возможного морозного пучения [1, формула 26]

$$l_{пуч} = l_{пуч.ср.} \times K_{угв} \times K_{пл} \times K_{гр} \times K_{нагр} \times K_{вл} = 4,41 \times 0,6 \times 1,2 \times 1,3 \times 0,2 \times 1,1 = 0,91 \text{ см}$$

$$l_{доп.} = 6 \text{ см} \quad [2, \text{табл. 2}]$$

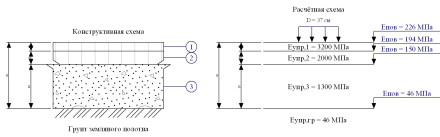
Ожидаемая пучинистость грунта  $0,91 \text{ см} < 80\%$  от допустимой 6,00 см

Морозоустойчивость конструкции обеспечена.

| Исходные данные                        |                                                                                                     |                                               |         |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------|
| Наиме объекта                          | Дорож.Автом.Автом.кал 0-000-ка 4-000 участков, основные карты, рафические работ, подготовка проекта |                                               |         |
| Район проектирования                   |                                                                                                     |                                               |         |
| Выполнение работы                      | На уступной, проекти, слани, аналит, морозостойкости                                                |                                               |         |
| Техническая категория дороги           | IV категория                                                                                        | Слани укладочная                              | Слани I |
| Тип дорожной одежды                    | Объемный                                                                                            | Коэффициент усадки грунта                     | 0,97    |
| Число полос движения (в обе стороны)   | 2                                                                                                   | Требуемый поверхностный модуль упругости, МПа | 180     |
| Номер расчетной полосы от обочины      | 1                                                                                                   | Суммарное число прикосновений на руле         | 107813  |
| Расчетная влажность грунта Wp          | 0,70                                                                                                | Расчетное количество дней в году Тгр          | 205     |
| Натураль.мг/Движение. МПа/Движение. см | 180/0,60/37                                                                                         | Срок службы мостов или элементов Тсл, лет     | 24      |
| Усадка влажность Кс                    | 0,85                                                                                                | Глубина промерзания дорожной конструкции, м   | 0,97    |
| Дорожно-климатическая зона             | IV                                                                                                  |                                               |         |

| Состав транспортного потока           |                                                                                                               |                             |                      |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| №                                     | Транспортное средство                                                                                         | Плотность движения, авт/сут | Коэффициент присадки |
| 1                                     | В легковые автомобили, небольшие грузовые (грузовые) и другие автомобили, прицепы и др. авто (ПНСТ 541-2021). | 150                         | 0,013                |
| 2                                     | С1 Двухосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021)                                                              | 30                          | 1,76                 |
| 3                                     | С2 Трехосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021)                                                              | 15                          | 2,43                 |
| 4                                     | С3 Четырехосные грузовые автомобили (ПНСТ 541-2021)                                                           | 5                           | 2,72                 |
| 5                                     | D Автобусы (ПНСТ 541-2021)                                                                                    | 10                          | 1,98                 |
| Итого                                 |                                                                                                               | 210                         | 124,6                |
| Плотность движения интенсивности      |                                                                                                               |                             | 1,04                 |
| Суммарное число прикосновений на руле |                                                                                                               |                             | 107813               |
| Требуемый модуль упругости            |                                                                                                               |                             | 180                  |

| № варианта  | Наименование слоев и материалов конструкции дорожной одежды                                                                                                                                                                                                      | Схема конструкции дорожной одежды, толщина, см | Общий модуль упругости по толщине слоев, МПа | Расчетные характеристики                                  |                                                    |                                                         | Морозостойкость                           |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|             |                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                |                                              | Упругий прочтв, МПа                                       | Слани, МПа                                         | Натур, МПа                                              |                                           |
| Вариант № 1 | 1. Конструктивный слой № 1 — Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебня (гранитной) смеси типа Б, марка битума БНД 60/90                                                                                                                            |                                                | Епоп = 230                                   | Еупр = 3200<br>Кгр = 1,060<br>Ккр = 1,260<br>Замс = 1,99% | Есл = 650                                          | Еиг = 4500                                              |                                           |
|             | 2. Конструктивный слой № 2 — Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебня (гранитной) смеси типа Б, марка битума БНД 60/90                                                                                                           |                                                | Епоп = 194                                   | Еупр = 2000                                               | Есл = 552                                          | Еиг = 2000<br>Кгр = 0,940<br>Ккр = 1,204<br>Замс = 3,7% |                                           |
|             | 3. Конструктивный слой № 3 — ПЩС, ГПС, крупнообломочные грунты, обработанные песком (см. ГОСТ 23558, ПНСТ 122-2019) совместно с минеральным Асфальт ГСМ для дорожного и аэродромного строительства (см. СТБ 6469427-2022), по прочности соответствующие марке 75 |                                                | Епоп = 150                                   | Еупр = 1300                                               | Есл = 1300                                         | Еиг = 1300                                              |                                           |
|             | Грунт земляного полотна — Супесь легкая пылеватая                                                                                                                                                                                                                |                                                | Епоп = 40                                    | Еупр = 46                                                 | Есл = 46<br>Кгр = 0,88<br>Ккр = 1,020<br>Замс = 9% | Еиг = 46<br>Кгр = 0,88<br>Ккр = 1,020<br>Замс = 9%      | 1,00 — 6 см<br>1,00 — 1 см<br>Замс = 4 см |



1. Конструктивный слой № 1 — Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебня (гранитной) смеси типа Б, марка битума БНД 60/90
2. Конструктивный слой № 2 — Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебня (гранитной) смеси типа Б, марка битума БНД 60/90
3. Конструктивный слой № 3 — ПЩС, ГПС, крупнообломочные грунты, обработанные песком (см. ГОСТ 23558, ПНСТ 122-2019) совместно с минеральным Асфальт ГСМ для дорожного и аэродромного строительства (см. СТБ 6469427-2022), по прочности соответствующие марке 75

Технико-экономические характеристики конструкции дорожной одежды

| Наименование материала                                                                                                                                                                                                              | Ед. изм.       | Стоимость, кб. руб. | Расход материалов на 1000 м <sup>2</sup> |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|------------------------------------------|-----------|
|                                                                                                                                                                                                                                     |                |                     | I вариант                                |           |
|                                                                                                                                                                                                                                     |                |                     | Количество                               | Стоимость |
| Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебня (гранитной) смеси типа Б, марка битума БНД 60/90                                                                                                                            | м <sup>3</sup> | 1                   | 40                                       | 40        |
| Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебня (гранитной) смеси типа Б, марка битума БНД 60/90                                                                                                           | м <sup>3</sup> | 1                   | 60                                       | 60        |
| ПЩС, ГПС, крупнообломочные грунты, обработанные песком (см. ГОСТ 23558, ПНСТ 122-2019) совместно с минеральным Асфальт ГСМ для дорожного и аэродромного строительства (см. СТБ 6469427-2022), по прочности соответствующие марке 75 | м <sup>3</sup> | 1                   | 200                                      | 200       |

### Список нормативных документов

1. ПНСТ 542–2021. Дороги автомобильные общего пользования. Нежёсткие дорожные одежды. Правила проектирования. — Введ. 2021–05–15 до 2024–05–15. — М.: Стандартиформ, 2021. — 78 с.
2. ГОСТ Р 59120–2021. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования. — М.: Стандартиформ, 2021. — 24 с.