



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

«ПРЕСТОРУСЬ»



***ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ПО РАСЧЕТУ КОНСТРУКЦИИ ПРОЕЗЖЕЙ
ЧАСТИ ДОРОГ С ОСОБО ВЫСОКИМИ
НАГРУЗКАМИ***

ШИФР: ЭК-ПР-3103-00000001-1

Москва
2021г.



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

«ПРЕСТОРУСЬ»

*ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ПО РАСЧЕТУ КОНСТРУКЦИИ ПРОЕЗЖЕЙ
ЧАСТИ ДОРОГ С ОСОБО ВЫСОКИМИ
НАГРУЗКАМИ*

ШИФР: ЭК-ПР-3103-00000001-1

Начальник технического отдела

Ведущий инженер



А.В. Короткевич

А.С. Гончаров

Москва
2021г.

Оглавление

1. Введение.....	2
2. Цели заключения:.....	2
3. Нормативная документация.....	2
4. Описание конструкций проезжей части	2
5. Выполняемые расчеты.....	4
6. Расчет конструкции	5
7. Заключение	9

1. Введение

Настоящее Заключение составлено специалистами ООО «ПРЕСТОРУСЬ» по заказу ООО «4ГРАНИ» в соответствии с Договором №3103-00000001 от 31.03.2021г. по расчету конструкций дорожной одежды.

2. Цели заключения:

- ❖ Проверка работоспособности типовых конструкций ООО «4ГРАНИ» на соответствие требованиям нормативных документов и условий строительства;

3. Нормативная документация

Необходимые при подготовке заключения инженерные расчеты выполнены в соответствии с требованиями действующих в Российской Федерации нормативных документов, в частности:

- ПНСТ 265-2018 Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд
- ОДМ 218.5.003-2010. Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог. – М.: Информавтодор, 2010. – 141 с.

4. Описание конструкций проезжей части

Типовая конструкция для проезжей части дорог с особо высокими нагрузками на дорожное покрытие представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Типовая конструкция проезжей части

Дренирующий слой, работающий по принципу осушения с запаздыванием отвода воды, выполняется из песка горного с содержанием пылевой и глинистой фракции не более 5% и коэффициентом фильтрации не менее 2 м/сут. Толщина дренирующего слоя – 17 см.

Между основанием проезда и дренирующим слоем выполняется разделительная прослойка из нетканого геотекстиля, плотностью не менее 200 г/м²

Основание проезда выполняется из сухого бетона, марки В7,5. Толщина слоя сухого бетона – 15 см. Для устранения неровностей, поверх основания устраивается выравнивающий слой, толщиной от 3 до 5 см из речного песка.

В качестве покрытия применена бетонная брусчатка «4ГРАНИ», толщиной 8 см.

5. Выполняемые расчеты

Для установления толщины слоев конструкции проезжей части проведены расчеты по критериям упругого прогиба, сдвигоустойчивости в песчаном слое и в основании, а также выполнены проверки на толщину дренирующего слоя и на сопротивление морозному пучению.

6. Расчет конструкции

Расчет конструкции дорожной одежды

Исходные данные

Название объекта: Автомобильная дорога

Выполняемые расчеты: На уступный прогиб, сдвиг, изгиб, морозоустойчивость, дренаж

Дорожно-климатическая зона: III - подзона I

Схема увлажнения: Схема 1

Расчетная влажность грунта

Среднее многолетнее значение относительной влажности грунта $W_{г\text{об}} = 0,65$

Коэффициент нормированного отклонения $t = 1,06$ [1, табл. А.4]

Тип местности по рельефу: Равнинный

Поправка на особенности рельефа территории $\Delta_1 W = 0$

Поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин $\Delta_2 W = 0,03$ [1, табл. А.3]

Поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоев дорожной одежды $\Delta_3 = 0$ [1, поморг. А.2]

Расчетная влажность грунта [1, формула А.1]

$$W_p = (W_{г\text{об}} + \Delta_1 W - \Delta_2 W) \times (1 + 0,1 \times t) - \Delta_3 = \\ (0,65 + 0 - 0,03) \times (1 + 0,1 \times 1,06) - 0 = 0,69$$

Коэффициент уплотнения грунта: 1,00

Глубина промерзания дорожной конструкции, м: 1,38

Средняя многолетняя глубина промерзания, м: 1,00

Высота насыпи: 0,00 м

Предельный уклон выше перелома профиля $i_1, \%$: 40,00

Предельный уклон ниже перелома профиля $i_2, \%$: 20,00

Знарядование работы водоотвода $T_{\text{зпн}}$, сут: 1

Коэффициент снижения притока воды K_p : 1,00

Проектные данные

Техническая категория дороги: IV категория

Тип дорожной одежды: Облегченный

Требуемые коэффициенты прочности при заданной надёжности $K_n = 0,85$ [1, табл. 11]:

Требуемый $K_{\text{пр}}$ (уступный прогиб): 1,06

Требуемый $K_{\text{пр}}$ (сдвиг, изгиб): 0,94

Коэффициент нормированного отклонения $t = 1,06$

Расчетный срок службы $T_{\text{рсл}}$, лет: 10

Ширина проезжей части, м: 7,5

Число полос движения (в обе стороны): 2

Номер расчетной полосы от обочины: 1

Расчетная нагрузка

Расчет по осевой нагрузке [1, табл. 3]:

Давление в шине p , МПа: 0,6

Диаметр отпечатка шины $D_{\text{отп}}$, см: 32,16

Статическая нагрузка на ось $Q_{\text{ст}}$, кН: 75,00

Статическая нагрузка от колеса на поверхность Q_k , кН: 37,50

Суммарное число приложений нагрузки

Требуемый модуль упругости $E_{\text{тр}} = 180$ МПа

$$\sum N_p = 10^{\frac{E_{\text{тр}} \cdot (98,65 \times \sqrt{p/0,6}) + c}{E_{\text{тр}}}} = 10^{\frac{180 \cdot (98,65 \times \sqrt{0,6/0,6}) + 3,35}{180}} \approx 236930,81 \text{ ед.}$$

Вариант № 1

1) Конструктивный слой № 1: 8,0 см

Брусчатка "4ГРАНИ"

2) Конструктивный слой № 2: 5,0 см

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

3) Конструктивный слой № 3: 15,0 см

Сухой бетон В7,5

Нетканый геотекстиль 200г/м²

4) Конструктивный слой № 4: 17,0 см

Песок средней крупности, с содержанием пылеато-глинистой фракции 0%

Грунт земляного полотна

Песок мелкий с содержанием пылеато-глинистой фракции 8%

Расчёт на упругий прогиб

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

[1, номогр. 4]

$$\frac{E_n}{E_n} = \frac{E_r}{E_3} = \frac{100}{120} = 0,833; \quad \frac{h_n}{D} = \frac{h_3}{D} = \frac{17}{32,16} = 0,529; \quad \frac{E_{\text{нон}}}{E_n} = \frac{E^2_{\text{нон}}}{E_3} \approx 0,8801$$

$$E^2_{\text{нон}} = 0,8801 \times 120 = 105,61 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 4]

$$\frac{E_n}{E_n} = \frac{E_3}{E_2} = \frac{105,61}{800} = 0,132; \quad \frac{h_n}{D} = \frac{h_2}{D} = \frac{15}{32,16} = 0,466; \quad \frac{E_{\text{нон}}}{E_n} = \frac{E^1_{\text{нон}}}{E_2} \approx 0,2558$$

$$E^1_{\text{нон}} = 0,2558 \times 800 = 204,64 \text{ МПа}$$

[1, номогр. 4]

$$\frac{E_n}{E_n} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{204,64}{2180} = 0,094; \quad \frac{h_n}{D} = \frac{h_1}{D} = \frac{8}{32,16} = 0,249; \quad \frac{E_{\text{нон}}}{E_n} = \frac{E^0_{\text{нон}}}{E_1} \approx 0,1415$$

$$E^0_{\text{нон}} = 0,1415 \times 2180 = 308,47 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{нон}}}{E_{\text{тр}}} = \frac{308,47}{180} = 1,71; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \times 100\% = \frac{1,71 - 1,06}{1,06} \times 100\% = 61,32\%$$

Расчёт на сдвигоустойчивость

Конструктивный слой № 4

Материал: Песок средней крупности, с содержанием пылеато-глинистой фракции 0%

$E = 120,0 \text{ МПа}$, $\phi = 27,70^\circ$, $\phi_{\text{стаб.}} = 32,00^\circ$, $c = 0,00285 \text{ МПа}$

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

$$E_n = \frac{\sum_{i=1}^2 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^2 h_i} = \frac{2180 \times 8 + 800 \times 15}{8 + 15} = 1280 \text{ МПа}$$

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

$$\frac{E_n}{E_{\text{н.м.}}} = \frac{1280}{105,6} = 12,12; \quad \frac{h_n}{D} = \frac{23}{32,2} = 0,72; \quad \tau_n \approx 0,04273 \text{ МПа}$$

$$\frac{E_u}{E_{обш}} = \frac{1280}{105,6} = 12,12; \quad \frac{h_u}{D} = \frac{23}{32,2} = 0,72; \quad \tau_u \approx 0,04273 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 14]

$$T = \tau_u \times p = 0,04273 \times 0,6 = 0,02564 \text{ МПа}$$

Коэффициент $k_d = 4$ [2, формула 9.6]

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{от} = 8 + 15 = 23 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоев, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{ср} = \frac{2300 \times 8 + 2000 \times 15}{8 + 15} = 2104,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,002104 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 3.14]

$$T_{пр} = k_d \times (c_u + 0,1 \times \gamma_{ср} \times z_{от} \times \operatorname{tg} \phi_{стат.}) = 4 \times (0,003 + 0,1 \times 0,002104 \times 23 \times \operatorname{tg} 32^\circ) \approx 0,0241 \text{ МПа}$$

$$K_{расч} = \frac{T_{пр}}{T} = \frac{0,0241}{0,02564} = 0,94; \quad \frac{K_{расч} - K_{тр}}{K_{тр}} \times 100\% = \frac{0,94 - 0,94}{0,94} \times 100\% = 0\%$$

Грунт земляного полотна

Материал: Песок мелкий с содержанием пылеватой-глинистой фракции 8%

$E = 100,0$ МПа, $\phi = 24,70^\circ$, $\phi_{стат.} = 31,00^\circ$, $c = 0,00285$ МПа

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

$$E_s = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{2180 \times 8 + 800 \times 15 + 120 \times 17}{8 + 15 + 17} = 787 \text{ МПа}$$

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

$$\frac{E_u}{E_{обш}} = \frac{787}{100} = 7,87; \quad \frac{h_u}{D} = \frac{40}{32,2} = 1,24; \quad \tau_u \approx 0,02689 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [1, формула 14]

$$T = \tau_u \times p = 0,02689 \times 0,6 = 0,01614 \text{ МПа}$$

Коэффициент $k_d = 2$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{от} = 8 + 15 + 17 = 40 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоев, расположенных выше проверяемого

$$\gamma_{ср} = \frac{2300 \times 8 + 2000 \times 15 + 1950 \times 17}{8 + 15 + 17} = 2038,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,002039 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [1, формула 3.14]

$$T_{пр} = k_d \times (c_u + 0,1 \times \gamma_{ср} \times z_{от} \times \operatorname{tg} \phi_{стат.}) = 2 \times (0,003 + 0,1 \times 0,002039 \times 40 \times \operatorname{tg} 31^\circ) \approx 0,0158 \text{ МПа}$$

$$K_{расч} = \frac{T_{пр}}{T} = \frac{0,0158}{0,01614} = 0,98; \quad \frac{K_{расч} - K_{тр}}{K_{тр}} \times 100\% = \frac{0,98 - 0,94}{0,94} \times 100\% = 4,3\%$$

Расчёт на изгиб

Расчёт не может быть произведён, так как в конструкции верхний слой не является монолитным.

Результаты расчёта на морозоустойчивость

Материал грунта: Песок мелкий с содержанием пылеватого-глинистой фракции 8%

Группа грунта по степени пучинистости 2

Высота насыпи 0 м, уровень грунтовых вод 2 м, толщина конструкции 0,4 м

Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды) $H_g = 0 \text{ м} + 2 \text{ м} - 0,4 \text{ м} = 1,6 \text{ м}$

Величина морозного пучения при усреднённых условиях и глубине промерзания 1,38 м [1, номогр. 11]

$l_{\text{уч,ср,2}} = 3,9 \text{ см}$

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

$K_{\text{гв}} = 0,5634$

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

$K_{\text{пл}} = 1$

Коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта

$K_{\text{гр}} = 1$

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

$K_{\text{нагр}} = 1,07$

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

$K_{\text{вл}} = 1,12$

Величина возможного морозного пучения [1, формула 26]

$$l_{\text{мр,в}} = l_{\text{уч,ср,2}} \times K_{\text{гв}} \times K_{\text{пл}} \times K_{\text{гр}} \times K_{\text{нагр}} \times K_{\text{вл}} = 3,9 \times 0,5634 \times 1 \times 1 \times 1,07 \times 1,12 = 2,63 \text{ см}$$

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

Ожидаемая пучинистость грунта 2,63 см < 80% от допустимой 6,00 см

Морозоустойчивость конструкции обеспечена.

Расчёт дренарующего слоя

Материал дренарующего слоя, работающего на осушение с запаздыванием отвода воды: Песок средней крупности, с содержанием пылеватого-глинистой фракции 0%

Пористость материала $n = 0,32$

Дополнительная толщина слоя $h_{\text{зам}} = 0,14 \text{ м}$

Коэффициент заволаживания пор влагой в материале дренарующего слоя к началу оттаивания [1, табл. 24]

$\phi_{\text{зам}} = 0,6$

Осреднённое значение притока воды в дренарующий слой $q = 2,5 \text{ л/м}^2$

Коэффициент «пик», учитывающий неустойчивый режим поступления воды [1, табл. 22], $K_{\text{п}} = 1,5$

Коэффициент гидрологического запаса, учитывающий снижение фильтрационной способности дренарующего слоя [1, табл. 22], $K_{\text{г}} = 1$

Коэффициент фильтрации $K_{\text{ф}} = 2,2 \text{ м/сут.}$

Коэффициент, учитывающий накопление воды в местах изменения продольного уклона

$$\frac{K_{\text{ф}} \times i_2}{n} = \frac{2,2 \times 0,02}{0,32} = 0,14; \quad \frac{i_1 - i_2}{i_2} = \frac{40 - 20}{20} = 1; \quad K_{\text{вер}} = 1,91$$

Коэффициент, учитывающий снижение притока воды при принятии специальных мер по регулированию водно-теплового режима [1, табл. 23], $K_{\text{р}} = 1$

Расчётная величина притока воды в дренарующий слой на 1 м^2 [1, формула 29]

$$q_{\text{р}} = \frac{q \times K_{\text{п}} \times K_{\text{г}} \times K_{\text{вер}} \times K_{\text{р}}}{1000} = \frac{2,5 \times 1,5 \times 1 \times 1,91 \times 1}{1000} = 0,0072 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{сут.}}$$

Полная толщина дренарующего слоя

Минимальная толщина дренарующего слоя:

$$h = \frac{\frac{q_{\text{р}} \times T_{\text{зам}}}{n} + 0,3 \times h_{\text{зам}}}{1 - \phi_{\text{зам}}} = \frac{\frac{0,0072 \times 1}{0,32} + 0,3 \times 0,14}{1 - 0,6} = 16,09 \text{ см}$$

7. Заключение

В соответствии с выполненными расчетами, принимается конструкция проезжей части, включающая:

- Дренирующего слоя из песка средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%. Толщина слоя – 17 см;
- Разделительную прослойку из нетканого геотекстиля, плотностью 200 г/м²;
- Сухой бетон марки В7,5. Толщина слоя – 15 см;
- Монтажный слой из речного песка. Толщина слоя – 5 см;
- Брусчатка бетонная «4ГРАНИ». Толщина слоя – 8 см.

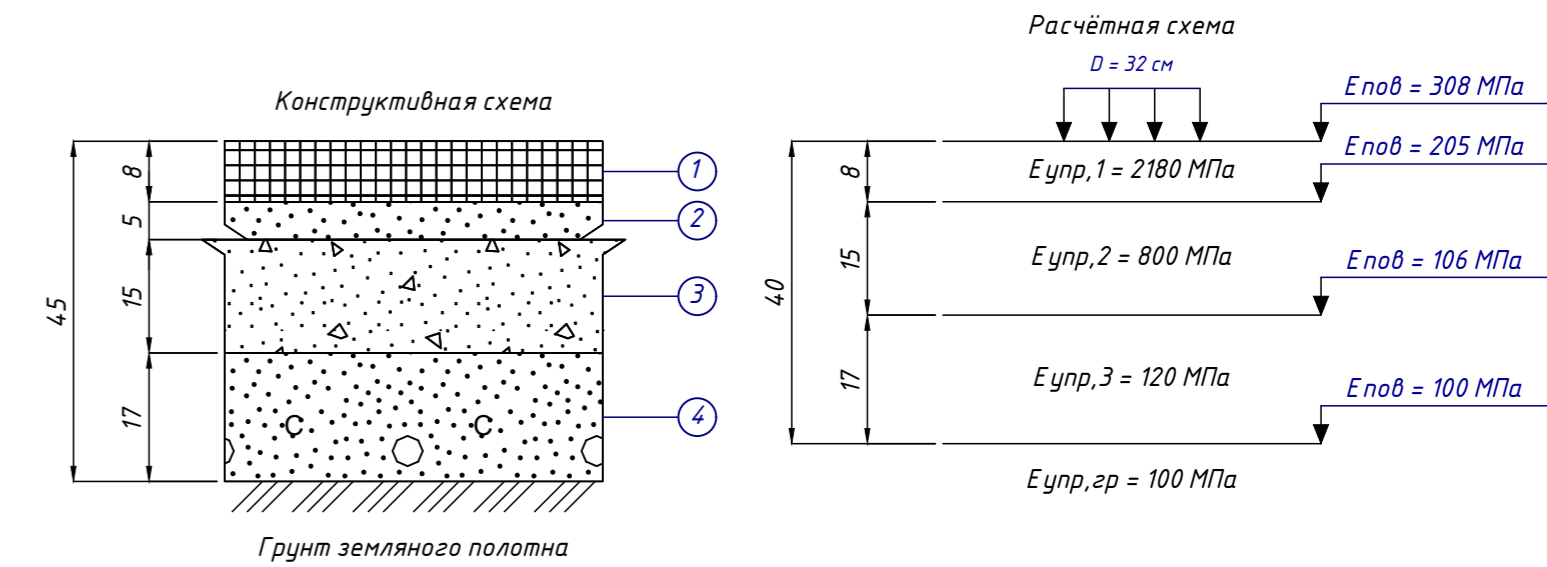
При соблюдении технологии строительства, данная конструкция обеспечит надежную эксплуатацию проездов в течении всего срока службы.

Исходные данные

Название объекта	Расчет проезжей части дорог с особо высокими нагрузками на дорожное покрытие		
Район проектирования	Самарская область		
Выполняемые расчёты	На упругий прогиб, сдвиг, изгиб, морозоустойчивость, дренаж		
Техническая категория дороги	IV категория	Коэффициент уплотнения грунта	1,00
Тип дорожной одежды	Облегченный	Требуемый поверхностный модуль упругости, МПа	180
Расчётная влажность грунта W_p	0,72	Суммарное число приложений нагрузки	236937
Нагрузка, кН / Давление, МПа / D штампа, см	75 / 0,60 / 32	Расчётное количество дней в году T_{rdz}	135
Заданная надёжность K_n	0,85	Расчётный срок службы между капитальными ремонтами $T_{сл}$, лет	10
Дорожно-климатическая зона	III - подзона 1	Глубина промерзания дорожной конструкции, м	1,38
Схема увлажнения	Схема 1	Уклоны в местах перелома профиля, %	40 / 20

Показатель изменения интенсивности: 1,04
 Суммарное число приложений нагрузки: 236937
 Требуемый модуль упругости: 180

№ варианта	Наименование слоёв и материалов конструкции дорожной одежды	Схема конструкции дорожной одежды. Толщина, см	Общий модуль упругости на поверхности слоёв, МПа	Расчётные характеристики			Морозоустойчивость	Дренаж
				Упругий прогиб, МПа	Сдвиг, МПа	Изгиб, МПа		
Вариант № 1	1. Конструктивный слой № 1 – Брусчатка "4ГРАНИ"		$E_{пов} = 308$					
	2. Конструктивный слой № 2 – Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%							
	3. Конструктивный слой № 3 – Сухой бетон В7,5		$E_{пов} = 205$	$E_{упр} = 800$	$E_{сдв} = 800$	$E_{изг} = 800$		
	– Нетканый геотекстиль 200 г/м ²							
	4. Конструктивный слой № 4 – Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%		$E_{пов} = 106$	$E_{упр} = 120$	$E_{сдв} = 120$ $K_{тр} = 0,940$ $K_{расч} = 0,940$ Запас = 0%	$E_{изг} = 120$		$H_{тип} = 16$ см Запас = 1 см
Грунт земляного полотна – Песок мелкий с содержанием пылевато-глинистой фракции 8%	$E_{пов} = 100$	$E_{упр} = 100$	$E_{сдв} = 100$ $K_{тр} = 0,940$ $K_{расч} = 0,980$ Запас = 4%			$L_{доп} = 6$ см $L_{луч} = 3$ см Запас = 2 см		



1. Конструктивный слой № 1 – Брусчатка "4ГРАНИ"
2. Конструктивный слой № 2 – Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%
3. Конструктивный слой № 3 – Сухой бетон В7,5
– Нетканый геотекстиль 200 г/м²
4. Конструктивный слой № 4 – Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%

Все размеры указаны в сантиметрах.

Изм.	Кол.уч.	Лист № док	Подп.	Дата	Расчет проезжей части дорог с особо высокими нагрузками на дорожное покрытие	Стадия	Лист	Листов		
Разраб.	Гончаров		04.21	П					1	1
Вед.инж.	Гончаров		04.21							
Проверил	Короткевич		04.21							
Нач.отд.	Короткевич		04.21							
Н.контр.	Иванов		04.21							
Расчет конструкции дорожной одежды					ООО "ПРЕСТОРИУС"					