



РОСДОРНИИ

Особенности проектирования конструкций дорожных одежд в условиях Сибири

Рахимова Ирина Александровна - начальник отдела
конструкций земляного полотна управления методов
проектирования автомобильных дорог
ФАУ «РОСДОРНИИ», к. т. н.



Цель работы - выявление особенностей конструирования и расчетов нежестких и жестких дорожных одежд в рамках нормативных требований для условий Сибири

Задачи:

- 1) учет условий проектирования:
 - природно-климатических
 - транспортной нагрузки
- 3) обоснование выбора асфальтобетонов (системы объемно-функционального проектирования и Маршалла) в покрытиях и основаниях нежестких дорожных одежд
- 4) анализ особенностей конструирования и расчетов нежестких и жестких дорожных одежд
- 5) выявление проблемных вопросов конструирования и расчетов дорожных одежд и предложения по их решению

The screenshot displays a software interface for road construction design. The main window shows a table of construction layers with the following data:

Слой	Материал	Толщина (см)	Елов (кПа)	Еурр (МПа)
Конструктивный слой № 1	Щебено-песчаный асфальтобетон марка БНД 100/130, с	h = 4 см h _{лик} = 3 см	Елов = 378	Еурр = 2700 МПа Зелес = 0%
Конструктивный слой № 2	Асфальтобетон на битумной вяжущей марке БНД 100/130, с	h = 7 см (5...100)	Елов = 370	Еурр = 3000 МПа
Конструктивный слой № 3	Щебено-песчано-гравийные смеси, обработанные вяжущим или жидким	h = 17 см (5...100)	Елов = 268	Еурр = 450 МПа
Конструктивный слой № 4	Фракционированный щебень трудноуплотненный	h = 24 см (8...40)	Елов = 193	Еурр = 350 МПа
Конструктивный слой № 5	Материал геотекстильный нетканый для разделения п...	h = 40 см (10...80)	Елов = 108	Еурр = 120 МПа
Конструктивный слой № 6	Песок средней крупности с содержанием пылеватого-глинистой	h = 30 см (5...100)	Елов = 98 МПа	Еурр = 160 МПа
Грунт земляного полотна	Суглинок тяжёлый пылеватый	h = 52 МПа	Еурр = 52 МПа	

Below the table, there is a cross-section diagram of the road structure with dimensions: 17, 24, 40, 30, 119, 122. To the right, a panel shows material properties for 'Щебено-песчаный асфальтобетон марка Битума БНД 100/130, размер зерен 11 мм', including 'Добавить в название', 'Тип Асфальтобетон', 'Мин 4', 'Мак 100,00', 'Мод 2 700', 'Мод 2 400', 'Сдвигустойчивость', 'Мод 900,00', 'Изгиб', 'Мод 9,30', 'Мод 4 700,00', 'Снижение прочности из-з', '5,00', '6,30', 'Снижение прочности из-з', '0,85'.

Нормативные требования по конструированию и расчетам дорожных одежд

ПНСТ 542

«ДАОП. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования»

Действует до 01.06.2024
Начата переработка
(НИИ ТСК)

ГОСТ Р 59628-2021

«ДАОП. Жесткие дорожные одежды. Типовые конструкции»

Действует с 01.06.2024

Методические рекомендации

по проектированию жестких дорожных одежд

Начата переработка
(МАДИ ТУ)

Дорожные одежды

Дорожные одежды: нежесткие, жесткие
Район проектирования: Новосибирская обл.
ДКЗ III, подзона 1,
Схема увлажнения рабочего слоя 1

Категория дороги	Количество полос движения
I	6
II	4
III	2

Срок службы дорожных одежд:
- нежестких - 24 года
- жестких - 30 лет

Нежесткие дорожные одежды с асфальтобетонами покрытиями:

- 1) по объемно-функциональному проектированию на битумах PG
- 2) по Маршалу на битумах БНД

Жесткие дорожные одежды с цементобетонным покрытием



Исходные данные для проектирования

Интенсивность движения и состав транспортного потока

Категория автомобильной дороги	Число полос движения	Исходная интенсивность движения, авт./сут.	Состав транспортного потока, %					
			Легковые	Автобусы	Грузовые и автопоезда грузоподъемностью, %			
					до 5	от 5 до 12	от 12 до 20	Свыше 20 (автопоезда)
I	6							
II	4							
III	2							

Ежегодный прирост интенсивности движения 3 %

Условия движения для назначения асфальтобетонов

Категория а-д	ΣN_p на срок службы на 12 лет, млн Для ВСП и НСП	Условия движения по ГОСТ Р 58829-2020
I	48,8	Тяжелые
II	8,8	Тяжелые
III	1,1	Нормальные

Категория дороги	E тр для нежесткой дорожной одежды, МПа	ΣN_p для жесткой дорожной одежды, млн. ед/ресурс по ГОСТ Р 59628
I	509	35,0 P-70
II	427	12,5 P-20
III	324	3,0 P-5

Грунт рабочего слоя – суглинок тяжелый пылеватый

Категория автомобильной дороги	Wp, %	E, МПа	φ, град	C, МПа	Укрепление грунтов рабочего слоя для дорожных одежд	
					нежестких	жестких
1	0,68	48,8	6,02	0,0070	да*	нет
2	0,66	53,1	6,83	0,0086	нет	нет
3	0,67	51,5	6,53	0,0081	да*	нет

*) - укрепления возможно избежать при укреплении обочины асфальтобетоном

Поправка к влажности Wp:

по уровню надежности

Категория автомобильной дороги	Уровень надежности	Нормированное отклонение для опр. Wp
1	0,98	2,19
2	0,95	1,71
3	0,92	1,48

по конструктивным особенностям

Укрепление обочин не менее 2/3 их ширины для опр. Wp (III ДКЗ)	
Асфальтобетоном 1 и 2 кат а-д	Щебнем (гравием) 3 кат. а-д
0,04	0,02



Требования к грунту рабочего слоя

Дорожные одежды	Требования
Нежесткие	<ul style="list-style-type: none"> Для III ДКЗ при Eгр на поверхности грунта рабочего слоя менее 53 МПа - верхнюю часть рабочего слоя земляного полотна необходимо укреплять на глубину не менее 0,30 м. Проверку дорожной одежды на морозоустойчивость выполняют с учетом толщины укрепленного грунта рабочего слоя. Расчет конструкции дорожной одежды по условию сдвигоустойчивости грунта рабочего слоя, укрепленного вяжущим, не проводят.
Жесткие	Модуль упругости грунта рабочего слоя земляного полотна должен быть не менее 40 МПа.



НДО рассчитаны для асфальтобетонными слоями запроектированными

- **SMA** и **SP** по технологии объемного проектирования ГОСТ Р 58401.1 на битумном вяжущем **PG**
- **ЩМА** и **A** по технологии Маршалла по ГОСТ Р 58406.2 на битуме **БНД**

Марка битумного вяжущего PG X(Z)-Y:

Слой дорожной одежды	Асфальто бетон	Марка битумного вяжущего PG X(Z)-Y для категории автомобильной дороги		
		I	II	III
ВСП	SMA	58 (V)-40	58 (V)-40	58 (H)-40
НСП	SP	52 (V)-40	52 (V)-40	52 (H)-40
ВСО	SP	46 (V)-40	46 (H)-40	-

Марки битумного вяжущего по ГОСТ Р 58400.1 и ГОСТ Р 58400.2 для асфальтобетонных слоев определяются по методике по ГОСТ Р 58400.3 или ПНСТ 542.

Методика ГОСТ Р 58400.3 привязана к фактической температуре на местности за 20 лет.

Статистические данные по температурам по регионам приведены в ПНСТ 397 (отменен с 01.06.2023).

Марка битума БНД (по ГОСТ Р 58829)

Слой дорожной одежды	Температура слоя $T_{98}, ^\circ\text{C}$	БНД для условий движения	
		тяжелые	нормальные
ВСП	52,1	50/70	50/70
НСП	47,7	70/100	70/100
ВСО	42,6	70/100	-

Марки битума БНД рассчитаны по методике ГОСТ Р 58829 с учетом условий движения и максимальной расчетной температуры T_{98} слоя дорожной одежды.

Температура определена по ГОСТ Р 58400.3.



Особенности конструирования слоев ЩМА (SMA) и пакетов слоев с органическими вяжущими

Рекомендуемые толщины уплотненных слоев по ГОСТ 58.406.1-2020

Тип ЩМА	Рекомендуемая толщина уплотненного слоя, мм
8	От 30 до 40
11	От 40 до 50
16	От 50 до 60
22	От 60 до 70

Толщина уплотненного слоя ЩМА должна быть

- не менее 2,5-кратного номинально максимального размера минерального заполнителя
- ЩМА 11 - не менее 30 мм,
- Для ВСП из ЩМА 22 - допускается снижать до 50 мм при ремонте и содержании

Щебеночно-мастичные асфальтобетоны для устройства защитных слоев и слоев износа по ГОСТ Р 58422.1-2021 в различных условиях движения

Условия движения	Категория автомобильной дороги	Минимальный коэффициент сцепления	Материал (рекомендуемые)	Характеристика участка дороги по условиям движения по ГОСТ Р 58422.1
Легкие	I, II, III	0,35	ЩМА-8, SMA-8	Участки прямые или на кривых радиусами 1000 м и более, горизонтальные или с продольными уклонами не более 30 %о...
Затрудненные	I и II	0,40	ЩМА-8 – ЩМА 22 SMA-8 – SMA -22,	Участки на кривых в плане радиусом от 250 до 1000 м, на спусках и подъемах с уклонами от 30 до 60 %о...
	III	0,40	ЩМА-8, SMA-8	
Опасные	I, II, III	0,45	ЩМА-11 – ЩМА 22 SMA-11 – SMA -22	Участки с видимостью менее расчетной; подъемы и спуски с уклонами, превышающими расчетные; зоны пересечений в одном уровне...

Материалы, содержащие органические вяжущие, в т.ч. асфальтобетон

Материалы, укрепленные органическими вяжущими



$$\geq h$$

$$\geq 22 \text{ см}$$

$$h$$

Материалы, содержащие органические вяжущие, в т.ч. асфальтобетон

Материалы, укрепленные комплексным вяжущим



$$\geq (h-20\%)$$

$$\geq (22 \text{ см}-20\%) \approx 18 \text{ см}$$

$$h$$

ГОСТ 58.406.1-2020 ДАОП. Смеси щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия

ГОСТ Р 58422.1-2021 ДАОП. Защитные слои и слои износа дорожных одежд. Технические требования



Конструкции нежестких дорожных одежд

Объемно-функциональное проектирование, вяжущее РГ

Маршалл, вяжущее БНД



Показатели	Объемно-функциональное проектирование			Маршалл		
	I	II	III	I	II	III
Категория дороги						
Толщина дорожной одежды, см	121	121	93	114	120	92
Толщина пакета асфальтобетона, см	33	23	11	30	21	11
Толщина укрепленного слоя основания, см:						
- цементом	23	18	-	21	20	
- органическим вяжущим	-	-	17	-	-	17
Определяющий критерий расчета	РИ	РИ	УП	РИ	РИ	УП

РИ - растяжение при изгибе, УП – упругий прогиб



Особенности расчетов НДО (методика ПНСТ 542)

1) Расчетные характеристики асфальтобетонов:

- не зависят от крупности заполнителя
- разные для одного асфальтобетона для слоев покрытия и основания

2) Запасы по критериям расчетов

Категория дороги	Характеристика конструкции дорожной одежды	Запас по критерию расчета			
		Упругий прогиб, %	Сдвиг в песке, %	Сдвиг в грунте, %	Растяжение при изгибе, %
1	Асфальтобетон на РГ	+31	+541	+665	0
	ЩПС, обработанная цементом				+291
	Асфальтобетон на БНД				
	ЩПС, обработанная цементом				
2	Асфальтобетон на РГ	+29	+213	+254	0
	ЩПС, обработанная цементом				+167
	Асфальтобетон на БНД				
	ЩПС, обработанная цементом				
3	Асфальтобетон на РГ	0	+33	+320	+4
	Асфальтобетон на БНД				

3) Учет вида контакта между слоями

Спаянный контакт между асфальтобетонными слоями

Гладкий контакт между нижним слоем из асфальтобетона и слоем основания под ним

Влияние вида контакта между нижним слоем из асфальтобетона и слоем основания под ним на толщину пакета асфальтобетонных слоев, см (РГ / БНД) для категория автомобильных дорог		
I	II	III
- 5 / -3	-5 / -2	0 / 0

4) Расчетные характеристики грунтов рабочего слоя:

- нет дифференцированных расчетных характеристик для укрепленных грунтов
- малая дифференциация по конструктивным особенностям проезжей части и обочин
- нет характеристик для тяжелых условий движения для $\sum N_p$ более 9,9 млн приложений

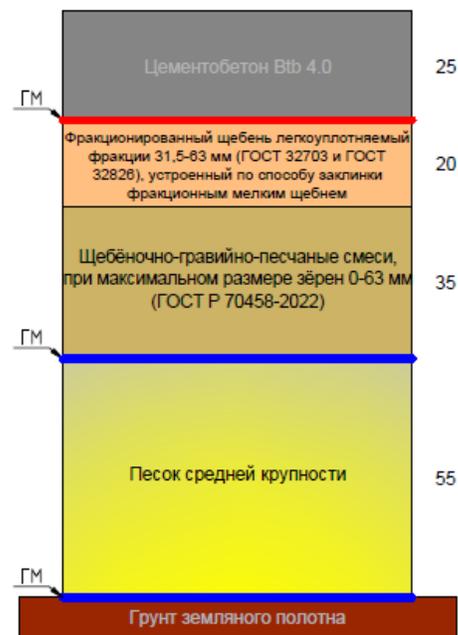
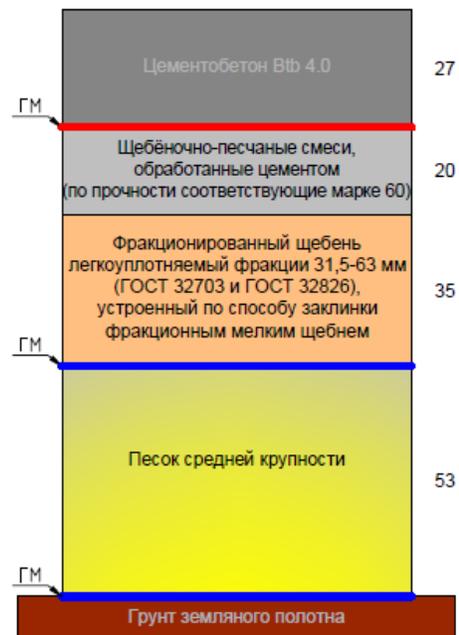
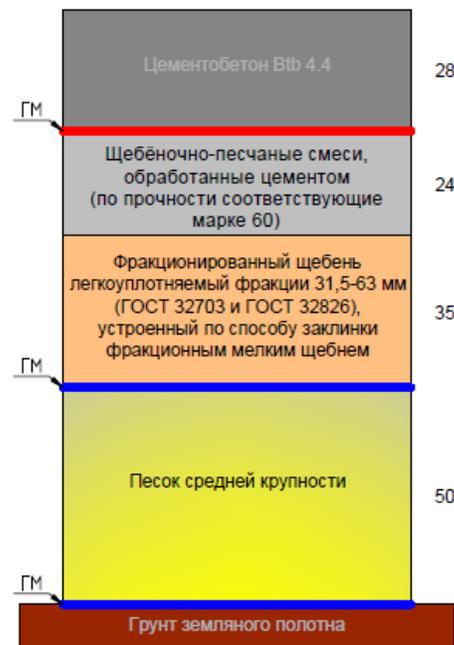


КОНСТРУКЦИИ ЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

I категория Р-70

II категория Р-20

III категория Р-5



Расчеты выполнены

- по прочности верхних слоев дорожной одежды;
- по прочности и устойчивости земляного полотна и слоев основания на сдвиг
- по устойчивости дорожной одежды к воздействию морозного пучения;
- по способности дренающего слоя основания отводить влагу в весенний период.

Расчетом определяются

- толщины покрытия и слоев основания,
- расстояние между поперечными швами,
- количество штырей в швах расширения и сжатия

Показатели по категориям дорог	I	II	III
Ресурс	Р-70	Р-20	Р-5
Толщина дорожной одежды, см	137	135	135
Толщина цементобетона Btb 4.4, см	28	-	-
Толщина цементобетона Btb 4.0, см	-	27	25



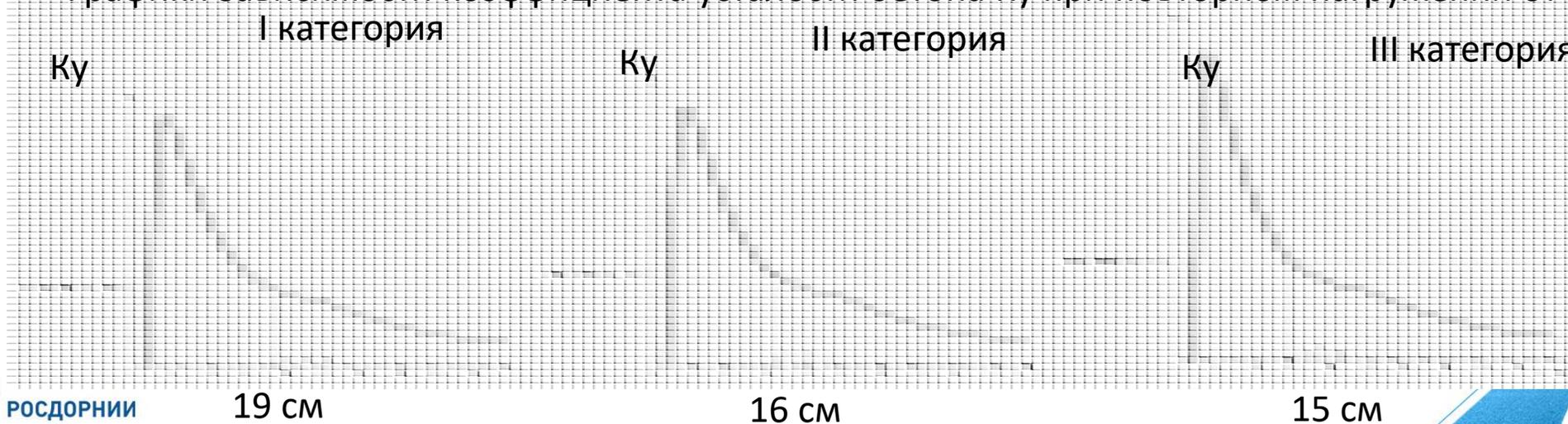
Класс бетона по Методическим рекомендациям для монолитного однослойного основания

Категория автомобильной дороги	Интенсивность расчетной нагрузки, ед./сут	Минимальные проектные классы (марки) по прочности	
		на растяжение при изгибе B_{tb} (P_{tb})	на сжатие B (М)
I	более 2000	4,4 (55)	35 (450)
II, III	от 1000 до 2000	4,0 (50)	30 (400)

Толщина цементобетонного покрытия

Категория автомобильной дороги	Класс бетона на растяжение при изгибе B_{tb}	Ресурс	Толщина цементобетонного покрытия, см	
			по расчетам	по ГОСТ Р 59628-2021
I	4,4	P-70	19	28
II	4,0	P-20	16	27
III	4,0	P-5	15	25

Графики зависимости коэффициента усталости бетона K_u при повторном нагружении от толщины



КОНСТРУКЦИИ ЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

- 1) Типовые конструкции применимы только к условиям их работы по 1-й расчетной схеме увлажнения.
- 2) Типовые конструкции жестких дорожных одежд представлены ограниченным перечнем материалов в основании дорожных одежд. Применяется только
 - щебеночно-песчаной смеси, обработанные цементом М 60 с модулем - 800 МПа или
 - щебеночно-песчаные смеси С5 с модулем упругости 260 МПа,
 - укатываемый бетон с модулем упругости 1200 МПа.
- 3) Типовые конструкции дорожных одежд привязаны к ресурсу (диапазону количества эквивалентных воздействий нормативных осевых нагрузок, млн.). Поэтому одна и та же конструкция дорожной одежды соответствует разному числу приложений расчетной нагрузки (например ресурс Р-20 соответствует диапазону приложений расчетной нагрузки от 5 до 20 млн.). При минимальном числе приложений расчетной нагрузки (5 млн.) запас толщины цементобетонного покрытия составляет 11 см, при максимальном значении (20 млн.) запас толщины – 9 см.



- 1) Для условий Сибири на примере Новосибирской области рассмотрены конструирование и расчеты нежестких дорожных одежд капитального типа и жестких дорожных одежд с цементобетонным покрытием и для дорог I, II и III категорий
- 2) Показаны зависимости расчетных характеристик грунтов рабочего слоя земляного полотна от конструктивных особенностей дорожных конструкций
- 3) Проанализированы особенности учета транспортной нагрузки при проектировании нежестких дорожных одежд при назначении пакетов асфальтобетонных слоев по системам объемно-функционального проектирования и Маршалла
- 4) Выявлены проблемные вопросы конструирования и расчетов нежестких и жестких дорожных одежд, намечены пути их решения с целью совершенствования и развития нормативной методики проектирования
- 5) Намечены пути решения проблемных вопросов для конструирования и расчетов дорожных одежд:
 - расширение и уточнение базы расчетных характеристик материалов, в том числе дифференцирование подхода к укреплению грунтов рабочего слоя земляного полотна
 - совершенствование расчетов нежестких дорожных одежд на сдвиг в грунте рабочего и в слоях дорожной одежды слоях из малосвязанных материалов с целью минимизации запасов при расчетах
 - исключение вариативности при выборе контактов (спаянный и гладкий) между слоями дорожной одежды
 - доработка методики расчетов жестких дорожных одежд с целью приближения результатов расчетов к обоснованным требуемым толщинам цементобетонных покрытий.





РОСДОРНИИ

