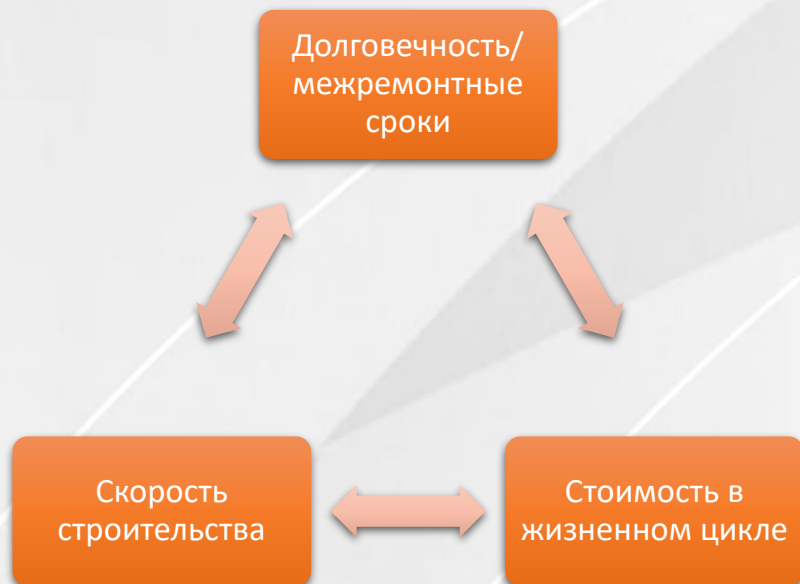




Минеральные вяжущие для повышения долговечности и экономической эффективности автомобильных дорог: статистика, расчетные аспекты, инновации

Ильин Сергей Владимирович,
заместитель директора Департамента проектирования,
технической политики и инновационных технологий

03 октября 2024 год, Минск



Новые нормативные документы на
расчет дорожных одежд:

ГОСТ Р 59628-2021

Дороги автомобильные общего пользования.
Жесткие дорожные одежды. Типовые
конструкции

ПНСТ

Дороги автомобильные общего
пользования. Жесткие дорожные одежды.
Правила проектирования

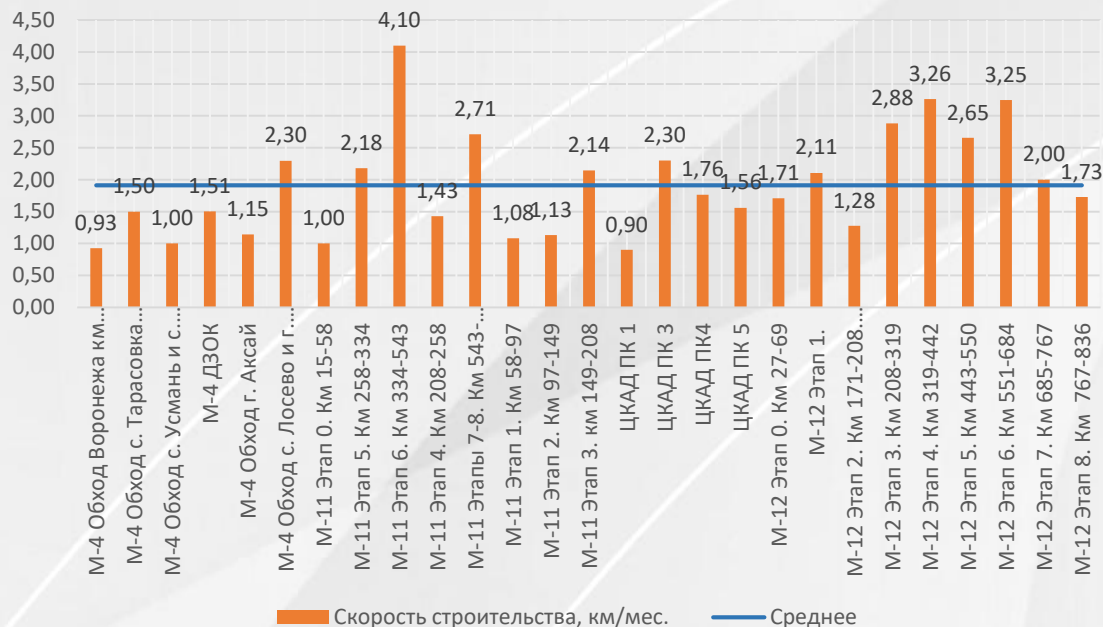
ГОСТ Р 71404-2024

Дороги автомобильные общего пользования.
Нежесткие дорожные одежды. Правила
проектирования

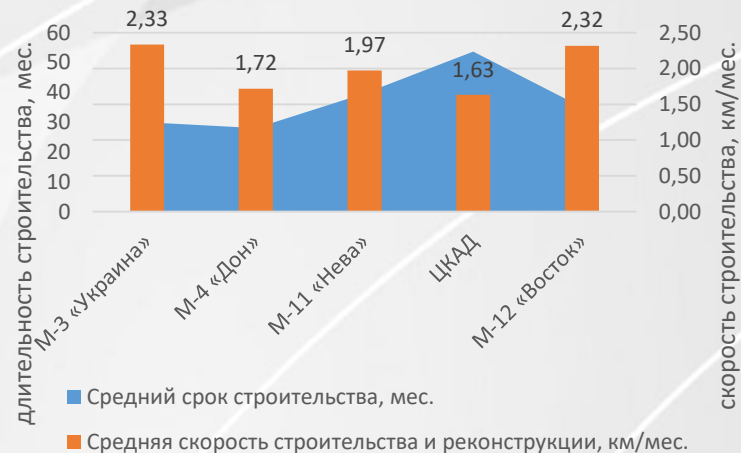
- Выводы:** 1) Создано новое нормативное поле по конструированию и расчету дорожных одежд;
2) Необходима оценка их влияние на решение задач отрасли в сопоставлении с практическим опытом;
3) Целесообразен набор статистики и обмен опытом.

Скорость строительства нежестких дорожных одежд

Скорость строительства, км/мес.



Усредненные данные по длительности строительства и реконструкции и скорости строительства



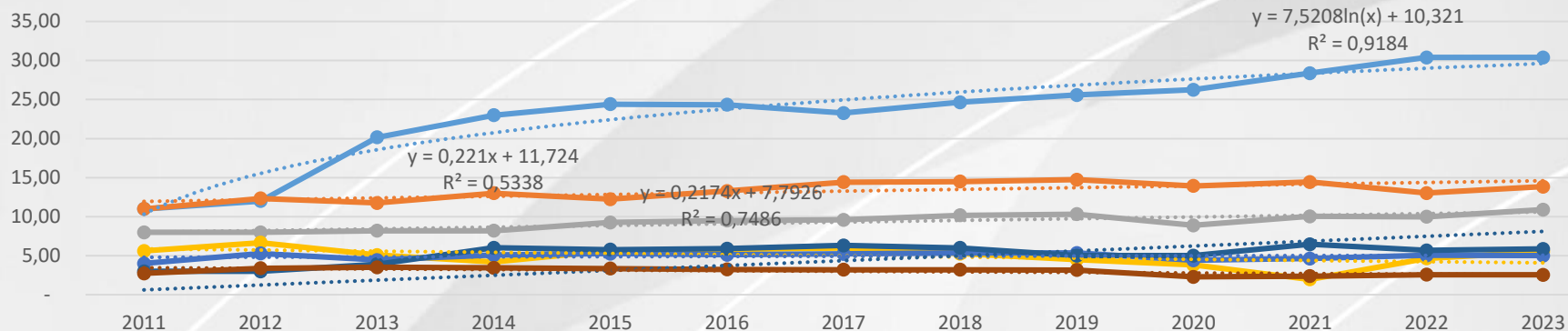
Выводы:

- критерий ввода – пуск рабочего движения;
- средняя скорость строительства - 1,91 км/мес.; скорость строительства за последние 3 года повысилась в среднем на 20 %;
- скорость строительства определяется плотностью жилой застройки, наличием коммуникаций, полосностью дороги;
- изменилась правовая база, в части возможности начала подготовительных работ с момента захода в экспертизу;
- преимущество по скорости больших по протяженности объектов по отношению к малым;
- на скорость строительства влияет наличие карст, болот, климатическая зона;
- асфальтобетоны и специальные добавки позволяют расширить строительный сезон.

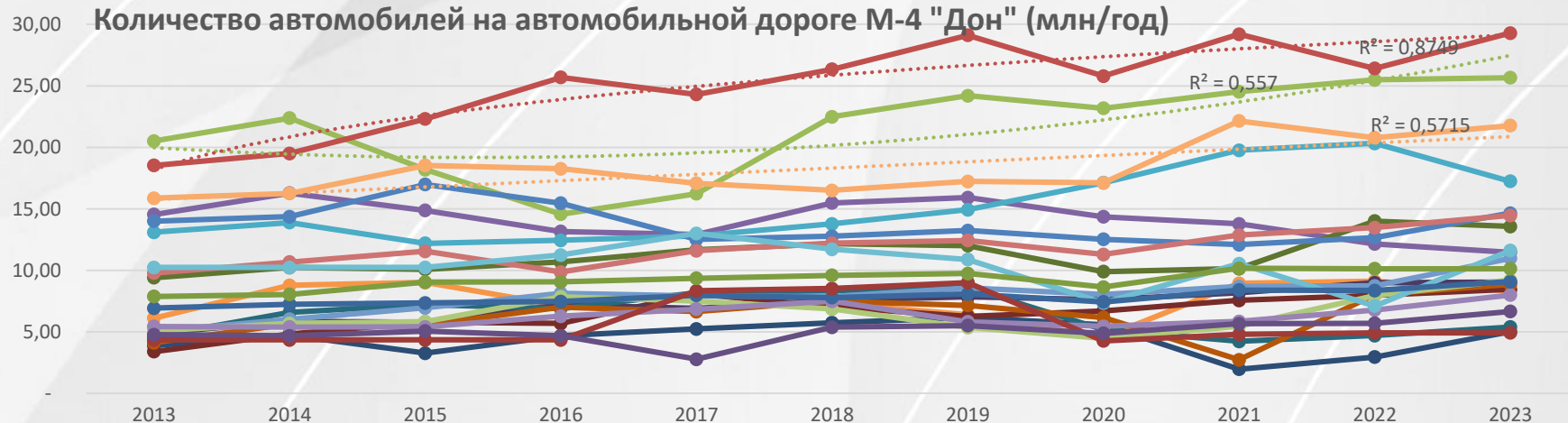
Объекты с высокими темпами строительства

Автомобильная дорога, участок	Протяженность, км	Длительность строительства, мес.	Скорость строительства, км/мес.
М-11 Этап 6. Км 334-543	209	51	4,10
М-12 Этап 4. Км 319-442	124	38	3,26
М-12 Этап 6. Км 551-684	133,1	41	3,25

Количество автомобилей на автомобильной дороге М-1 "Беларусь" (млн/год)



Количество автомобилей на автомобильной дороге М-4 "Дон" (млн/год)



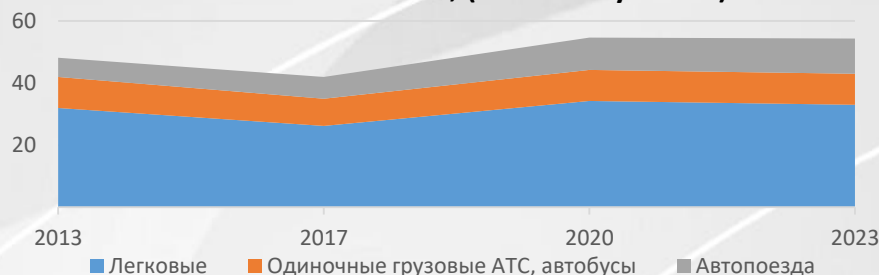
Выводы: динамика роста на головных участках, в зоне крупных агломераций составляет 1,6% в год; максимальный коэффициент неравномерности движения составляет в пределах 1,2 (в расчетных методиках на дорожные одежды принимается 1,6, что увеличивает капитальность конструкций).

Изменение интенсивности и состава транспортного потока на участках автомобильных дорог М-1 «Беларусь» и М-4 «Дон», млн/год

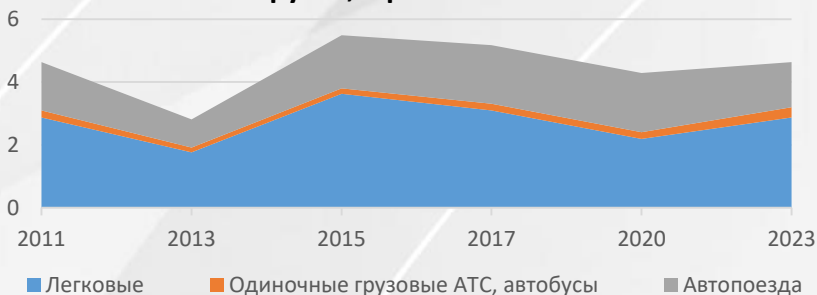
**М-1 «Беларусь»,
Московская область (головной участок)**



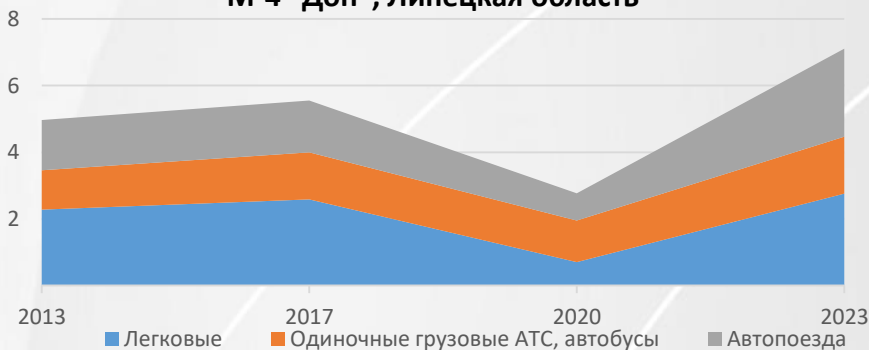
**М-4 "Дон",
Московская область, (головной участок)**



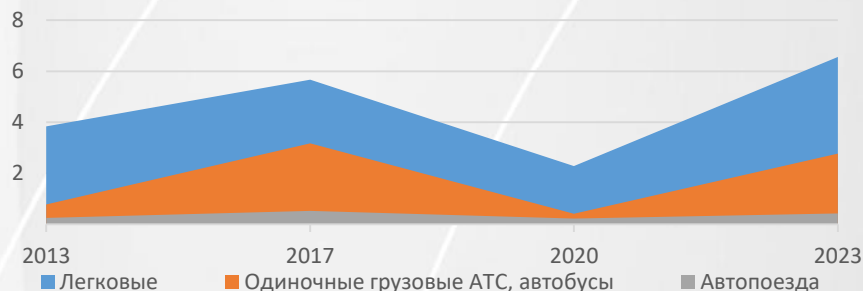
М-1 «Беларусь», в районе г. Смоленска



М-4 "Дон", Липецкая область



М-4 "Дон", Краснодарский край



Выводы:

- прирост идет по всем видам транспорта;
- введены повышенные коэффициенты приведения по всем видам транспорта.

Коэффициенты приведения к расчетной транспортной нагрузке

Категория ТС по ГОСТ 32965	Схема ТС	Тип ТС	ПНСТ 265	ПНСТ 542	ГОСТ Р 71405-2024
			Суммарный коэффициент приведения к осевой нагрузке 11,5 т	Суммарный коэффициент приведения к осевой нагрузке 11,5 т	Суммарный коэффициент приведения к осевой нагрузке 11,5 т
B		Легковые автомобили, небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	0,01	0,0015	0,0015
C1		Двухосные грузовые автомобили	0,6	1,51	1,81
C2		Трехосные грузовые автомобили	2,49	2,33	2,84
C3		Четырехосные грузовые автомобили	3,62	2,56	3,51
C4		Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	1,81	2,54	2,65
C5		Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	2,15	2,13	3,28
C6		Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	2,39	2,38	2,9
C7		Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	4,13	2,96	3,67
C8		Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	6,48	2,83	3,76
C9		Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	4,7	3,01	4,13
C10		Шестиосные седельные автопоезда	7,94	2,12	2,99
C11		Автомобили с семью и более осями и другие	8,47	1,58	2,19
D		Автобусы	0,75	1,16	1,81

Выводы: в ГОСТ Р коэффициенты приведения увеличены, соответственно капитальность конструкций также наращивается

Сравнение конструкций дорожных одежд по различным методикам для укрепленных оснований

Конструкция дорожной одежды	Толщины слоев КДО, см, при выполнении расчета по методике				
	ПНСТ 542-2021 (не действует)	ГОСТ Р 71404-2024 ¹ (введен в действие с 01.09.2024г.)		МОДН 2-2001 (не отменен)	
Расчетный срок службы дорожной одежды 12 лет (с учетом п. 4.5 ГОСТ Р 58861-2020)					
	Вариант 1.1	Вариант 2.1 (с учетом уменьшения усталости а/б)	Вариант 3.1	Вариант 4.1	Вариант 5.1
число приложений расчетной нагрузки за 12 лет	37 574 383	48 849 603		15 725 837	48 849 603 ⁶
Ефакт/Етр, МПа	1036,91 / 498,35	773,56 / 511,33	1032,3 / 511,33	899,10 / 455,26	1120,92 / 511,33
SMA-16 PG70-34	5	5	5	5	5
SP-22Э PG70-34	7	7	7	7	7
SP-32Э PG64-34	14	10	16	10	12
ОМС 32К	27	16	21	17	30
ЩПЦС М10	18	20	20	20	20
ЩПС 0-63	15	15	15	15	15
ППС	40	40	40	40	40
Полная толщина	126	113	124	114	129
в т.ч. асфальтобетон	26	22	28	22	24
Стоимость в ценах III кв. 2024г.	12 619 509	10 544 808	12 658 260	10 630 284	12 378 644
Процентное соотношение стоимости	112%	94%	113%	95%	110%
Расчетный срок службы дорожной одежды 24 года					
	Вариант 1.2	Вариант 2.2 ³	Вариант 3.2 ⁴	Вариант 4.2	Вариант 5.2
число приложений расчетной нагрузки за 24 года	82 496 806 ⁵	107 246 578 ⁶		34 532 503 ⁷	107 246 578 ⁶
Ефакт/Етр, МПа	1173,68 / 537,26	828,17 / 550,23	1144,85 / 550,23	1032,30 / 494,17	1220,04 / 550,23
SMA-16 PG70-34	5	5	5	5	5
SP-22Э PG70-34	7	7	7	7	7
SP-32Э PG64-34	17	12	19	12	17
ОМС 32К	27	15	23	22	23
ЩПЦС М10	18	20	20	20	20
ЩПС 0-63	15	15	15	15	15
ППС	40	40	40	40	40
Полная толщина	129	114	129	121	127
в т.ч. асфальтобетон	29	24	31	24	29
Стоимость в ценах III кв. 2024г.	13 462 545	10 946 208	13 672 248	11 619 688	13 110 224
Процентное соотношение стоимости	120%	100%	122%	103%	117%

Выводы:

- за счет коэффициентов приведения число приложений нагрузки увеличивается, в данном примере по участку М-4 на 30%;
- в методике ГОСТ Р введена новелла (коэффициент), которая увеличивает усталостное сопротивление асфальтобетонов на укрепленном основании, и это дает возможность уменьшить толщину асфальтобетона (в примере на - 7 см) . Это конструкция 2.1 (для расчета на 12 лет) и аналогичная конструкция 2.2 (для расчета на 24 года);
- на укрепленном основании конструкции дорожных одежд, рассчитанные по новому ГОСТ Р и по МОДН практически идентичны и дешевле чем по ранее действующему ПНСТ 542;
- разница в стоимости 1 м2 дорожной одежды рассчитанной на 12 и рассчитанной на 24 года составляет всего 500 - 1000 рублей на м2 (или ВНИМАНИЕ - 2 – 3 см асфальтобетона) для различных методик. Нужен набор статистики.

Сравнение конструкций дорожных одежд по различным методикам для неукрепленных оснований

Конструкция дорожной одежды	Толщины слоев КДО, см, при выполнении расчета по методике							
	ПНСТ 542-2021 (не действует)	ГОСТ Р 71404-2024 ¹ (введен в действие с 01.09.2024г.) ПРИРОДНЫЙ ЩПС или неактивные шлаки		ГОСТ Р 71404-2024 ¹ (введен в действие с 01.09.2024г.) ШЛАКОВЫЙ ЩПС (активные шлаки)		МОДН 2-2001 (не отменен)		
		Расчетный срок службы дорожной одежды 12 лет (с учетом п. 4.5 ГОСТ Р 58861-2020)						
	Вариант 1.1	Вариант 2.1	Вариант 3.1	Вариант 2.1	Вариант 3.1	Вариант 4.1	Вариант 5.1	
суммарное число приложений расчетной нагрузки за 12 лет	37 574 383	48 849 603		48 849 603		15 725 837	48 849 603 ⁶	
Ефакт/Етр, МПа	771,57 / 498,35	893,89 / 511,33		893,9/511,38		740,46 / 455,26	852,01 / 511,33	
SMA-16 PG70-34	5	5		5		5	5	
SP-22Э PG70-34	7	7		7		7	7	
SP-32Э PG64-34	23	23		23		14	18	
ЩПС 0-63	25	45		23		38	42	
ППС	40	40		40		40	40	
Полная толщина	100	120		98		104	112	
в т.ч. асфальтобетон	35	35		35		26	30	
		Расчетный срок службы дорожной одежды 24 года						
	Вариант 1.2	Вариант 2.2 ³	Вариант 3.2 ⁴	Вариант 2.2 ³	Вариант 3.2 ⁴	Вариант 4.2	Вариант 5.2	
суммарное число приложений расчетной нагрузки за 24 года	82 496 806 ⁵	107 246 578 ⁶		107 246 578 ⁶		34 532 503 ⁷	107 246 578 ⁶	
Ефакт/Етр, МПа	893,9 / 537,3	932,4 / 550,23		932,0 / 550,1		1014/550,2	808,28 / 494,17	
SMA-16 PG70-34	5	5		5		5	5	
SP-22Э PG70-34	7	7		7		7	7	
SP-32Э PG64-34	26	27		27		26	22	
ЩПС 0-63	35	30		18		30	38	
ППС	40	40		40		40	40	
Полная толщина	113	109		97		108	112	
в т.ч. асфальтобетон	38	39		39		38	34	

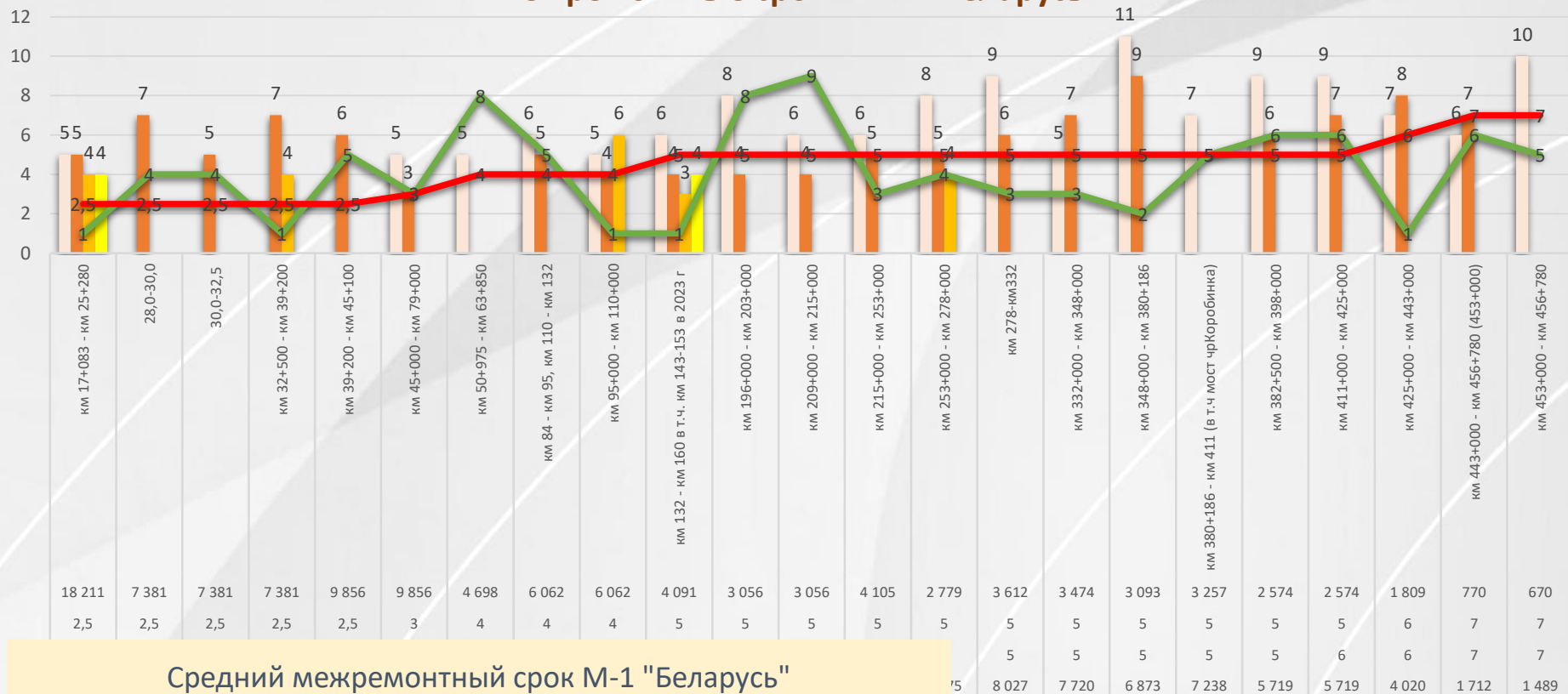
Выводы: - конструкции на неукрепленных основаниях по ГОСТ Р стали толще в сравнении с ранее действующим ПНСТ 542 (за исключением дорог IV категории, где введены дополнительные возможности для исключения удорожания);

- конструкции с неукрепленными слоями добавляют в капитальности по сравнению с конструкциями с укрепленными слоями (+8-15 см в асфальтобетоне);

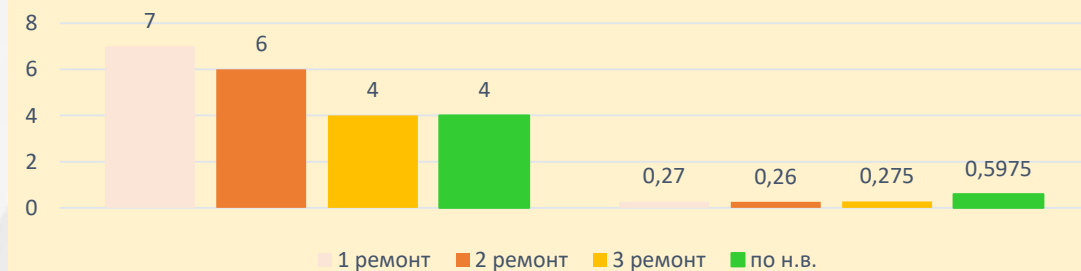
- применение активных шлаков позволяет снизить толщину щебеночно-песчаного слоя до 40%. В основании применять рекомендуется применять доменные шлаки. Конверторные шлаки применять только при оценки наличия слабых зерен. Применение электродуговых шлаков в основании исключать.

- [\[1\]](#) при расчете по ГОСТ Р 71404-2021 и ПНСТ 542-2021 толщина верхнего слоя покрытия принята уменьшенной на величину максимально допустимой колеи.
- [\[2\]](#) при расчете по МОДН 2-2001 расчетные характеристики материалов слоев КДО приняты согласно ПНСТ 542-2021, толщина верхнего слоя покрытия учтена в полном объеме без учета износа.
- [\[3\]](#) в вариантах 2.1 и 2.2 учтена рекомендация примечание к таблице Г.5 ГОСТ Р 71404-2024 о том, что в случае устройства монолитных слоев основания под асфальтобетоном, для слоя основания из асфальтобетона рекомендуется применять коэффициент «m» как для слоя покрытия того же типа и на том же битумном вяжущем.
- [\[4\]](#) в вариантах 3.1 и 3.2 не учтены рекомендации примечания к таблице Г.5 ГОСТ Р 71404-2024 о том, что в случае устройства монолитных слоев основания под асфальтобетоном, для слоя основания из асфальтобетона рекомендуется применять коэффициент «m» как для слоя покрытия того же типа и на том же битумном вяжущем.
- [\[5\]](#) суммарное число приложений расчетной нагрузки в вариантах 1.1 и 1.2 учитывает коэффициенты приведения к расчетному транспортному средству по табл. Б.1 ПНСТ 541-2021.
- [\[6\]](#) суммарное число приложений расчетной нагрузки в вариантах 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 5.1 и 5.2 учитывает коэффициенты приведения к расчетному транспортному средству по табл. А.1 ГОСТ Р 71405-2024.
- [\[7\]](#) суммарное число приложений расчетной нагрузки в вариантах 4.1 и 4.2 учитывает коэффициенты приведения к расчетному транспортному средству по табл. 5.1 ОДМ 218.2.056-2015.

Межремонтные сроки М-1 "Беларусь"



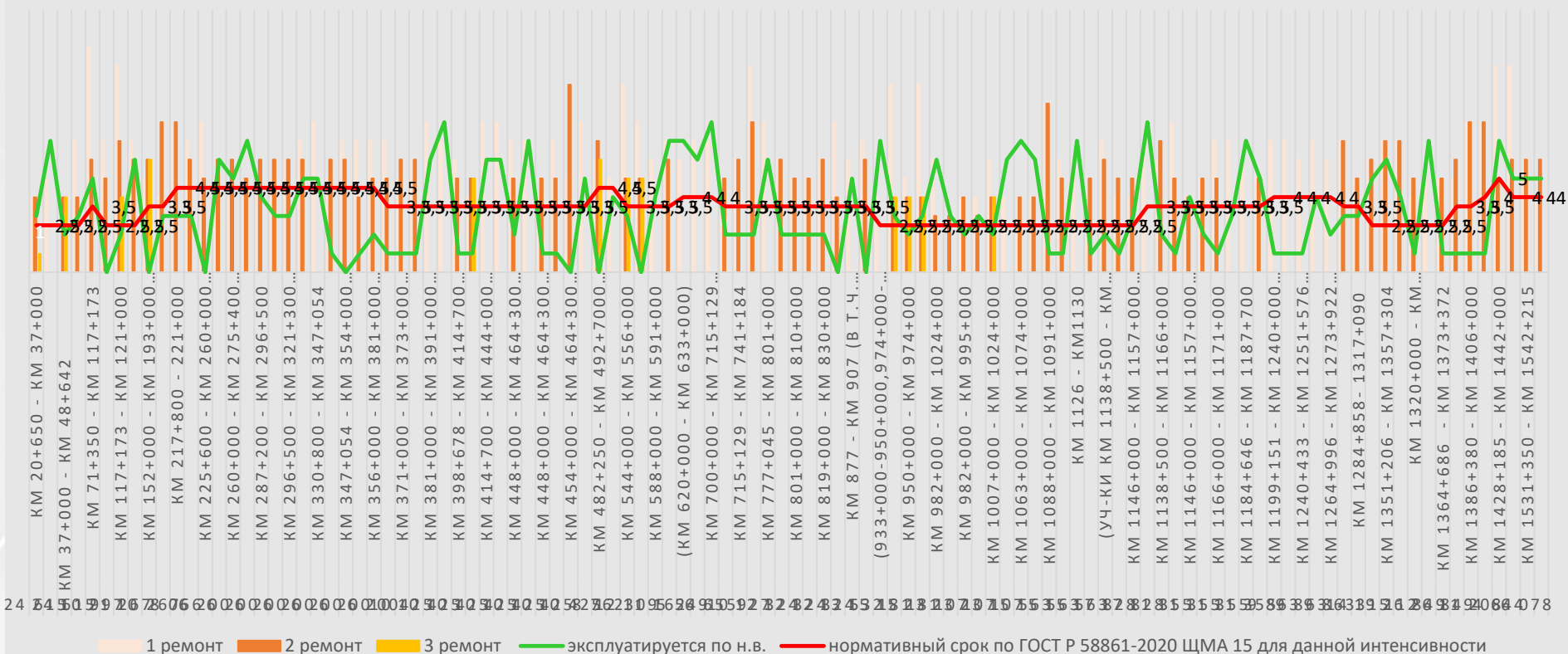
Средний межремонтный срок М-1 "Беларусь"



Межремонтные сроки:

- по ранее действующим нормативам по капитальному ремонту - 12 лет, факт 14-17 год;
- по ремонту сроки выше нормативных, предельные сроки по битумным вяжущим на текущий момент – до 9 лет, предельное по критерию старения

Зависимость межремонтных сроков от интенсивности движения М-4 «ДОН»



Средний межремонтный срок М-4 "Дон"



Межремонтные сроки :

- по ранее действующим нормативам по капитальному ремонту – 12-18 лет исходя из ДКЗ, факт 17-25 лет;
- по ремонту выше нормативных, уменьшаются с каждым ремонтом, предельные сроки – до 9 лет

2001			11 лет			2012			6-7 лет			2019			5-6 лет			За 23 года: 2 ремонта: 1 – замена слоя износа 1- ремонта по участкам 2 слоя, Перспектива-капитальный ремонт до основания		
Реконструкция участка завершена в 2000-2001 г. Ремонт в 2011-2012 год – 2 слоя (по участкам)																				
									Ремонт в 2018-2019 году – ремонт - замена ЦМА 5 см											
														В 2022 – ямочность, выпоры, трещины (следующий ремонт не менее 2-х слоев+карты по основанию))						

Ремонт цементобетонного покрытия М-4 км 52 – км 72

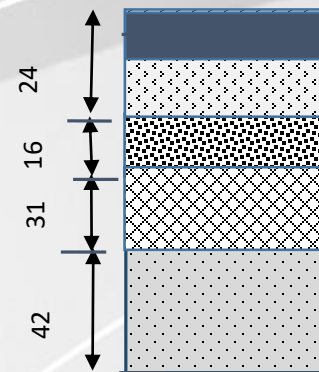


Цементобетонное покрытие из бетона Вtb 4,4 (В35) F150

ЩПС, укрепленная 10 % цемента (М75, F25)

Щебень

Песок



* Размеры даны в сантиметрах

В 2017-2018 гг. -фрезерование цементобетона и устройство верхнего слоя покрытия из ЩМА-12 по методологии Supergravel толщиной 3,5 см

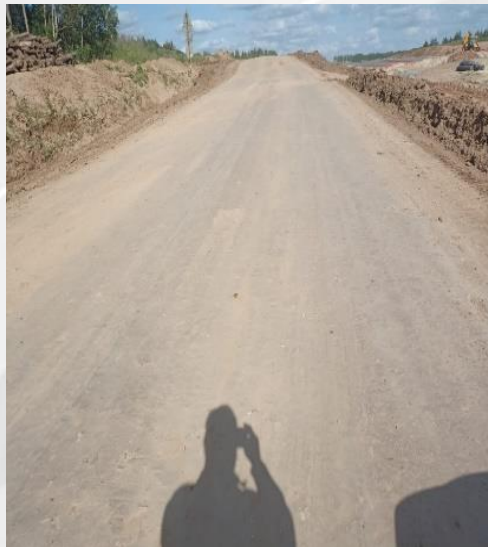
В 2022 году осуществлён ремонт с заменой слоя износа

В 2024 году осуществлен ремонт средней полосы, на протяжении до 3 км, имеется шелушение в бетоне, судя по длине, причина - качество сменной захватки при строительстве бетонной дороги.

7 лет										4-5 лет					4-5 лет					4-5 лет					4-5 лет				
2011 - Устройство цементобетонного покрытия																													
										2018 - Устройство слоя износа Правая полоса сохранена в цементобетоне					2022 - Устройство слоя износа Правая полоса сохранена в цементобетоне														
										Устройство слоя износа					Устройство слоя износа					Устройство слоя износа					Устройство слоя износа				

- Осуществлено фрезерование 2-х слоев асфальтобетона
- При фрезеровании происходит интенсивное разрушение тощего бетона в зоне трещин до 0,6 метров в каждую сторону. Разрушение бетона также связано с воздействием реагентов, проникающих в трещины.
- После укладки асфальтобетона выявили, что при высокой температуре происходит сдвиг асфальтобетона в зоне трещины с образованием наплыва и появление на поверхности цементного молочка (причина в том числе из-за более высокой пористости новых видов асфальтобетонов)
- При ремонте до тощего бетона зона трещин требует дополнительной расчистки, с укладкой либо укрепленного ЩЦПС, либо, как опробованной на данном объекте расклиновка асфальтогранулятом. Укладка в расчищенное пространство трещины горячего асфальтобетона не снизило сдвиг





(КМВ) Суглинок легкий песчаный, мягкопластичный
Естественная влажность, % 32
Число пластичности, % 9,8
Оптимальная влажность, % 12,4

Результаты после применения КМВ

Фактическая плотность, г/см³ 2,11
 Коэф. уплотнения 0,98
 Значение Ev2, МПа среднее 110
 Ev2/Ev1 ≤ 2,5
 Время выдержки грунта, обработанного КМВ до уплотнения, мин 60-90

(ПГСЖ + ПГСП) Суглинок тяжелый пылеватый
 тугопластичный

Естественная влажность, % 30,1
Число пластичности, 15,2
Оптимальная влажность, % 22,8

Результаты после применения ПГСЖ+ПГСП

Коэф. уплотнения 0,99
 Значение Ev2, МПа среднее 102,1
 Время выдержки грунта до уплотнения – без выдержки
 Запуск движения – сразу после уплотнения

Объект	Этап	Стабилизация/укрепление грунта
М-12 «Восток»	4	1,5-2% извести 250 000 м ³ куб грунта КМВ DOROMIX SPECIAL III CL-Q 60
	5	Известь негашеная 174,9 т; Doromix Special III 174,16 т; Портландцемент М500 622,64 т. 48 003 м ²
	6	ПГСЖ-1 - 0,8 л/м ³ грунта + 2% ПГСП-3 8 097 м ³ грунта, пойма реки Пьяна; Портландцемент М500 545,58 т. 272 231 м ²
Дюртили-Ачит	1	1,5% извести 4 696 457 м ³ куб грунта
	2	3 % известь - 258 000 м ³ куб грунта 0,4 % Nicoflok+ 5% цемент- 447 000 м ³ куб грунта Портландцемент М500 5870,24 т.; Известь негашеная 3532,49 т. 236 515 м ²
	3	3% известь +цемент 59 000 м ³ куб грунта Известь негашеная 1645,84 т; Портландцемент М500 545,58 т. 118 530 м ²

Ремонт шлюза ПВП на Северном
обходе г. Одинцово



М-12 «Восток» этап 8 (км 663)



Применение высокопрочного бетона
цементаль для карнизных блоков
150 погонных метров фасада

Выводы:

- технология содержания цементобетонного участка с устройством слоев износа на М-4 км 52 – км 72 подтверждает свою эффективность за 2 цикла ремонта;
- скорость строительства дорог из цементобетона должна быть сопоставима с асфальтобетонными дорогами при соответствующих технико-экономических показателях;
- нежесткие дорожные одежды на скоростных дорогах и магистралях с укрепленным основанием более долговечны, чем на неукрепленном основании. При обеспечении укладки смесей устойчивых к образованию колеи и оперативной заделке отраженных трещин. Применение пористых смесей на укрепленном основании исключить;
- необходимы мастики для заделки трещин устойчивых к воздействию реагентов и ультрафиолета;
- нежесткие дорожные одежды с укрепленным основанием, рассчитанные по новой методике ГОСТ Р значительно снижают капитальность конструкции (минус 7-15 см асфальтобетона в сравнении с неукрепленным основанием), что при наращивании скорости строительства дает дополнительный стимул устраивать укрепленные основания;
- подтвержденный экономический и технический эффект имеет применение доменных шлаков черной металлургии в слоях основания;
- технология стабилизации и укрепления грунта дает комплексный эффект: исключает дополнительную транспортировку материалов и позволяет ускорить строительство;
- учитывая многообразие технических решений и новой нормативной базы необходим долгосрочный мониторинг и обмен опытом.

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ.

S.Iiyn@russianhighways.ru