

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.72

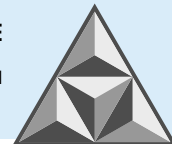
DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-3-48-61

Улучшение характеристик асфальтобетонов путем их модифицирования

Г.В. Проваторова, К.М. Рябина, А.В. Вихрев

Галина Владимировна Проваторова*, **Ксения Михайловна Рябина**, **Александр Владимирович Вихрев**
Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир,
Российская Федерация

*asf.inst@yandex.ru**, *kseniyaya92@mail.ru*, *user1268@gmail.com*



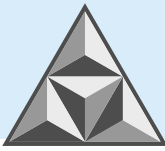
Вопросы повышения качества и увеличения срока службы асфальтобетонов при проектировании и строительстве дорожных покрытий требуют привлечения новых методов и технологий приготовления смесей, а также применения модифицирующих добавок для получения строительного материала с комплексом требуемых свойств. Введение добавок-модификаторов в битум позволяет добиться качественного изменения его характеристик, однако это часто приводит к усложнению процесса и повышению стоимости конечного продукта. В настоящей работе предлагается применить новый способ модифицирования состава, суть которого сводится к внесению добавки не в битум, а непосредственно в асфальтобетонную смесь.

Ключевые слова: битум, асфальтобетон, модифицирование, термоэластопласт «ДорАрм», проектирование состава, дорожные покрытия, срок службы

Для цитирования:

Проваторова Г.В., Рябинина К.М., Вихрев А.В. Улучшение характеристик асфальтобетонов путем их модифицирования // *Умные композиты в строительстве*. 2025. Т. 6, вып. 3. С. 48-61.
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/6456/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-3-48-61



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-3-48-61

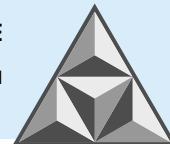
Improving the performance characteristics of asphalt concrete through their modification

G.V. Provatorova, K.M. Ryabinina, A.V. Vikhrev

Galina Vladimirovna Provatorova*, **Kseniya Mikhailovna Ryabinina**, **Aleksandr Vladimirovich Vikhrev**

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir, Russian Federation

*asf.inst@yandex.ru**, *kseiyaya92@mail.ru*, *user1268@gmail.com*



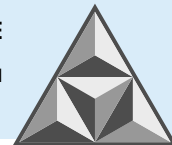
Enhancing the quality and service life of asphalt concrete in the design and construction of road pavements requires the adoption of new mix production methods and technologies, as well as the use of modifying additives to create a construction material with a comprehensive set of required properties. Introducing modifier additives into bitumen can qualitatively improve its characteristics; however, this often leads to a more complex process and increased cost of the final product. This paper proposes a new method for modifying the composition, which involves introducing the additive directly into the asphalt concrete mix rather than into the bitumen.

Keywords: bitumen, asphalt concrete, modification, thermoplastic elastomer “DorArm”, mix design, road pavements, service life

For citation:

Provatorova G.V., Ryabinina K.M., Vikhrev A.V. Improving the performance characteristics of asphalt concrete through their modification // *Smart Composite in Construction*. 2025. Vol. 6, Iss. 3. P. 48-61 URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/6456/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-3-48-61



ВВЕДЕНИЕ

Неудовлетворительные сроки эксплуатации дорожных покрытий являются большой проблемой при значительном росте загруженности дорог, утяжелении транспортного потока и требуют привлечения к решению новых методов, материалов и технологий. Кратковременная устойчивость асфальтовых покрытий обусловлена качеством применяемых материалов, особенно битума. Именно битум наиболее чувствителен к воздействию механических нагрузок транспорта и климатических факторов, определяющих состояние дорожного полотна [1].

Одним из способов повышения качества дорожно-строительных связующих веществ является их модификация, направленная на улучшение адгезионных характеристик, прочности и устойчивости к деформации. Это положительно сказывается на эксплуатационных свойствах дорожного покрытия [2].

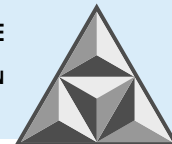
В последнее время стали применять новую технологию модификации, при которой добавка вводится не в битум, а непосредственно в смеситель. Благодаря такому приготовлению асфальтобетонной смеси обеспечивается создание высоконадежного дорожного покрытия, которое обладает способностью эффективно противостоять образованию трещин даже при воздействии экстремально низких температур окружающей среды. Помимо этого, данная технология гарантирует высокие показатели сопротивления разрушению вследствие длительных циклических нагрузок, сохраняет целостность структуры и при повышенных температурах, минимизируя риск возникновения деформаций сдвига и обеспечивая надежную защиту от формирования колеи, возникающей под влиянием интенсивного движения автотранспорта.

Термоэластопластичные добавки, вводимые в состав асфальтобетонных смесей, выполняют роль эффективного пластифицирующего компонента, способствующего повышению сдвиго- и водоустойчивости, ударопрочности, сопротивляемости усталости материала, предотвращению расслоений, образованию колеи и трещин в покрытии. Модифицирование приводит к значительному продлению срока эксплуатации автодорог (долговечность повышается на 30%). Для производителей модифицированных и полимерно-битумных вяжущих, асфальтобетонных смесей и подрядных организаций, занятых устройством покрытий, особый интерес представляет «сухой» способ введения добавок в асфальтобетонную смесь [3, 4].

Целью данного исследования являются:

- определение оптимального количества вводимой в битум добавки и исследование свойств вяжущего;
- улучшение основных показателей асфальтобетонной смеси на основе полученных модификаций без значительного удорожания в производстве, главным образом, ввиду того, что термоэластопласт вводится непосредственно в смесь;
- увеличение срока службы асфальтобетонного покрытия, что, в свою очередь, позволит снизить затраты дорожных организаций на эксплуатацию дорог.

Задача исследования заключалась в анализе эффективности влияния модифицирования на изменение характеристик асфальтобетонов, в том числе – их прочностные показатели.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В данном исследовании проводили сравнительный анализ смеси без добавки и с добавлением в нее термоэластопласта «ДорАрм». «ДорАрм» представляет собой модификатор, полученный путем включения в состав активного резинового порошка, производимого посредством девулканизации резиновой крошки. В состав продукта введены целевые и функциональные добавки, предназначенные для улучшения эксплуатационных характеристик асфальтобетонных смесей [4].

Асфальтобетонные смеси, содержащие модификатор «ДорАрм», согласно рекомендациям производителя, оптимальны для применения в верхнем и нижнем слоях покрытия, а также в верхнем слое основания дорожной конструкции.

«ДорАрм» выполняет двойную функцию (дисперсное армирования и стабилизация), обеспечивая существенное снижение степени стекания вяжущего, что удовлетворяет требованиям стандартов ГОСТ Р 58406.1-2020, ГОСТ Р 58406.2-2020, ГОСТ 31015-2002 и ГОСТ 9128-2013. Модификатор поставляется в форме порошка или гранул (рис. 1) и предназначен для введения в асфальтобетонную смесь методом сухого смешивания. В состав модификатора «ДорАрм» входят:

- активный резиновый порошок с размером частиц менее 0.8 мм;
- функциональные добавки, включающие стабилизирующие, структурообразующие, адгезионные и модифицирующие элементы [4].

Требования к свойствам модификатора «ДорАрм» приведены в табл. 1.



Рис. 1. Внешний вид модификатора «ДорАрм»
Fig 1. Appearance of the DorArm modifier

Таблица 1. Показатели свойств модификатора «ДорАрм»

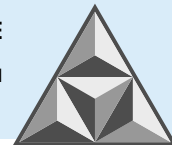
Table 1. Properties of the DorArm modifier

№ п/п	Наименование показателя, Единица измерения	Нормативные значения	Метод испытания
1	Остаток на сите 2.5 мм при просеивании, %, не более	10	по 8.5
2	Индекс агломерации (слеживаемость), баллы, не менее	10	по ГОСТ 55419
3	Насыпная плотность, г·см ⁻³	0.47 ± 0.02	по ГОСТ 55419
4	Влажность, % по массе, не более	5	по ГОСТ 58406.1
5	Термостойкость, %	5	по ГОСТ 58406.1

В качестве исходных материалов для производства модификатора «ДорАрм» применяют:

- активированный порошок, получаемый путем измельчения отходов резины;
- специальные целевые и функциональные добавки на основе полимерных соединений, выполняющие роль катализирующих агентов и соответствующие требованиям ГОСТ Р 55419-2013.

Основным сырьем для производства активного резинового порошка служит девулканизированная резиновая крошка, извлекаемая из отработанных автомобильных покрышек или отходов производства резинотехнических изделий (вторичное сырье).



Важно отметить, что в процессе подготовки сырья исключают посторонние механические примеси – песок, древесные частицы, глинистые включения, стекло или камни [5].

Исследование проводили на базе дорожной лаборатории ООО «ДСУ №3». В качестве базового вяжущего материала был взят битум марки БНД 70/100, который широко используется во Владимирской области.

Применение модификатора «ДорАрм» предполагает одновременное его дозирование совместно с битумом. Добавку модификатора вводят в смесительный аппарат, причем подача осуществляют сразу же вслед за битумом, спустя 1-3 с. Продолжительность последующего смешивания состава должна составлять минимум 25 с. Предварительное нагревание модификатора перед его добавлением в смесь не осуществляют.

С момента выхода готовой модифицированной асфальтобетонной смеси с завода до ее укладки на дорогу должно пройти не менее 30 мин. Это время отвечает периоду транспортировки смеси в кузовах самосвалов до участка строительства дороги [6].

Методика исследования включает [7, 8]:

- лабораторные испытания битума нефтяного дорожного марки БНД 70/100;
- лабораторные испытания асфальтобетонной смеси, приготовленной с применением битума нефтяного дорожного (см. рис. 2) и модификатора «ДорАрм».



Рис. 2. Лабораторные испытания битума нефтяного дорожного БНД 70/100

Fig. 2. Laboratory tests of petroleum road bitumen BND 70/100

Проектирование состава асфальтобетонной смеси А16Вн проводили в дорожной лаборатории ГУП ДСУ-3 (г. Владимир) в соответствии с ГОСТ Р 58406.10.

На первом этапе определяли оптимальный гранулометрический состав смеси, после чего рассчитывали требуемое содержание вяжущего.

Из полученной в результате подбора минеральной части в ходе двух параллельных серий испытаний изготавливали асфальтобетонную смесь на основе стандартного битума БНД 70/100, а также смесь, модифицированную «ДорАрм».

Для корректного изготовления, последующих испытаний материала и анализа результатов был составлен технологический регламент, включающий следующие стадии:

- получение асфальтобетонной смеси в лабораторной мешалке по действующей методике, в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58406.10;
- формование не менее трех образцов (одного состава) испытуемого асфальтобетона (рис. 3);
- лабораторные исследования каждой серии образцов асфальтобетона по ГОСТ Р 58406.2-2020 (см. рис. 4);
- ланжирование полученных в ходе лабораторных исследований результатов, анализ выявленных закономерностей и составление рекомендаций.

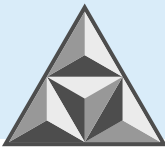
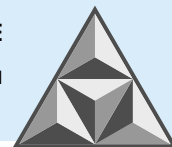


Рис. 3. Изготовление асфальтобетонных образцов
Fig. 3. Manufacture of asphalt concrete samples



Рис. 4. Лабораторные испытания стандартных образцов асфальтобетона по ГОСТ Р 58406.2-2020
Fig. 4. Laboratory tests of standard asphalt concrete samples according to GOST R 58406.2-2020

Дальнейшие исследования осуществляли на образцах асфальтобетонной смеси заданного типа и осуществляли анализ полученных результатов с учетом работ [9, 10].



РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты испытаний представлены на рис. 5.

Результаты лабораторных испытаний

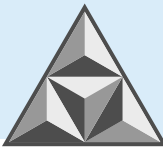
№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Требования ГОСТ 33133-2014, ГОСТ Р 58829-2020 к БНД 70/100	Фактические значения
1.	Глубина проникания иглы при 25 °С	0,1 мм	71-100	89
2.	Температура размягчения по кольцу и шару	°С	не ниже 47	47,8
3.	Растяжимость при температуре 0°С	см	не менее 3,7	5,01
4.	Максимально усилие при растяжении при температуре 0°С и скорости растяжения 1 см/мин	Н	-	77,15
5.	Температура хрупкости	°С	не выше -18	-24
6.	Изменение массы образца после старения	%	не более 0,6	0,3
7.	Изменение температуры размягчения после старения	°С	не более 7	7,0
8.	Динамическая вязкость при температуре 60°С при скорости сдвига 1,5 с ⁻¹	Па·с	не менее 100	222,91
9.	Динамическая вязкость при температуре 60°С при скорости сдвига 1,5 с ⁻¹ после старения	Па·с	не менее 220	773,57
10.	Коэффициент изменения динамической вязкости после старения		не более 3,5	3,47
11.	Температура вспышки	°С	не ниже 230	290
12.	Диапазон смешивания	°С	-	154,5-160,1
13.	Диапазон уплотнения	°С	-	142,8-147,9

Рис. 5. Результаты лабораторных исследований битума нефтяного дорожного марки БНД 70/100

Fig. 5. Results of laboratory tests of road bitumen of the BND 70/100 brand

Рецепт асфальтобетонной смеси разрабатывался по стандартной методике: производили подбор оптимального зернового состава асфальтобетонной смеси и определяли оптимальное содержание вяжущего в смеси (рис. 6, 7).

Состав асфальтобетонной смеси №4.3/2023															
А16Вн по ГОСТ Р 58406.2-2020															
1. Применяемые минеральные материалы															
№ п/п	Наименование материалов	Состав а/б смеси при подборе, % (битум сверх 100%)	Средняя и истинная плотность, г/см ³	Зерновой состав (прошло через сито с отверстиями мм), % от массы											
				22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1	Щебень габбро-диабаз фр. 11,2-16 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чекжавара"		2,96	100,00	94,08	10,80	1,32	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59
2	Щебень габбро-диабаз фр. 8-11,2 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чекжавара"		2,98	100,00	100,00	94,94	8,04	0,56	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
3	Щебень габбро-диабаз фр. 4-8 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чекжавара"		2,96	100,00	100,00	100,00	93,88	38,68	3,68	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
4	Песок дробленый М1400, габбро-диабаз, ООО "ПГК", месторождение "Чекжавара"		3,06	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,78	66,33	45,18	30,35	23,79	14,46	9,65
5	Минеральный порошок МП-2 ЗАО "Завод Ковровский доломит молотый"		2,89	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,18	86,24
2. Зерновой состав асфальтобетонной смеси															
Состав смеси		%	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	
1	Щебень габбро-диабаз фр. 11,2-16 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чекжавара"	26,0	26,0	24,5	2,8	0,3	0,2	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,2	
2	Щебень габбро-диабаз фр. 8-11,2 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чекжавара"	8,0	8,0	8,0	7,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	
2	Щебень габбро-диабаз фр. 4-8 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чекжавара"	13,0	13,0	13,0	13,0	12,2	5,0	0,5	0,0	0	0	0	0,0	0,0	
3	Песок дробленый М1400, габбро-диабаз, ООО "ПГК", месторождение "Чекжавара"	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	46,4	32,5	22,1	14,9	11,7	7,1	4,7	
4	Минеральный порошок МП-2 ЗАО "Завод Ковровский доломит молотый"	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,4	
5	Сумма	100,0	100,0	98,5	76,4	66,1	58,2	50,9	36,5	26,1	18,9	15,7	11,0	8,3	
6	Зерновой состав по ГОСТ Р 58406.2-2020		100,0	100,0	90,0	-	-	70,0	55,0	-	-	-	20,0	12,0	
7	Зерновые составы фактические		100,0	98,5	76,4	66,1	58,2	50,9	36,5	26,1	18,9	15,7	11,0	8,3	



3. Состав асфальтобетонной смеси							
№ п/п	Наименование материалов	Насыпная плотность г/см ³	Состав минеральной части асфальтобетонной смеси, % (битум сверх 100%)	Состав минеральной части асфальтобетонной смеси, % (битум в 100%)	Дозировка, кг на 1 тонну	Дозировка материалов на замес, кг	
						фракция	количество
1	Щебень габбро-диабаз фр. 11,2-16 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чевжавара"	1,65	26,0	24,9	248,8	16-22,4	0,4
2	Щебень габбро-диабаз фр. 8-11,2 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чевжавара"		8,0	7,7	76,6	8-16	7,8
3	Щебень габбро-диабаз фр. 4-8 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чевжавара"	1,69	13,0	12,4	124,4	4-8	3,6
4	Песок дробленый М1400, габбро-диабаз, ООО "ПГК", месторождение "Чевжавара"	1,70	49,0	46,9	468,9	0-4	11,2
5	Минеральный порошок МП-2 ЗАО "Завод Ковровский доломит молотый"		4,0	3,8	38,3		1,0
6	Битум БНД 70-100 ООО "ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез"		4,5	4,3	43,1		1,1
7	Сумма		104,5	100,0	1000,0	сумма	25,00

4. Физические и эксплуатационные показатели асфальтобетонной смеси			
№ п/п	Наименование показателей	Требования ГОСТ Р 58406.2-2020	Проектные показатели
1	Объемная плотность, г/см ³		2,640
2	Максимальная плотность, г/см ³		2,740
3	Пустоты в минеральном заполнителе (ПМЗ), %	не менее 12	16,0
4	Содержание воздушных пустот, %	от 2,5 до 4,5	3,6
5	Пустоты, наполненные битумным вяжущим (ПНБ), %	67-80	77,2
6	Средняя глубина колеи, мм	не более 4,5	4,4
7	Коэффициент водостойкости	не менее 0,85	0,88
8	Удельное содержание радионуклидов, Бк/кг	до 740	41,2
9	Диапазон смешивания, °С		157,3-162,9
10	Диапазон уплотнения, °С		145,8-150,9

5. Предельно допустимые отклонения отдельных показателей от состава					
№ п/п	Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.2-2020	Фактические значения	Границы отклонения	
				минимальная	максимальная
1	Содержание воздушных пустот, % от объема	± 1,4	3,6	2,2	5,0
2	Количество вяжущего в смеси (сверх 100 %), %	± 0,5	4,5	4,0	5,0
3	Количество вяжущего в смеси (в 100 %), %	± 0,5	4,3	3,8	4,8
4	Проход через сито, на один размер меньше номинального максимального размера (сито 11,2 мм), % по массе	± 6,0	76,4	70,4	82,4
5	Проход через сито 4 мм, % по массе	± 6,0	50,9	44,9	56,9
6	Проход через сито 2 мм, % по массе	± 6,0	36,5	30,5	42,5
7	Проход через сито 0,125 мм, % по массе	± 4,0	11,0	7,0	15,0
8	Проход через сито 0,063 мм, % по массе	± 4,0	8,3	4,3	12,3

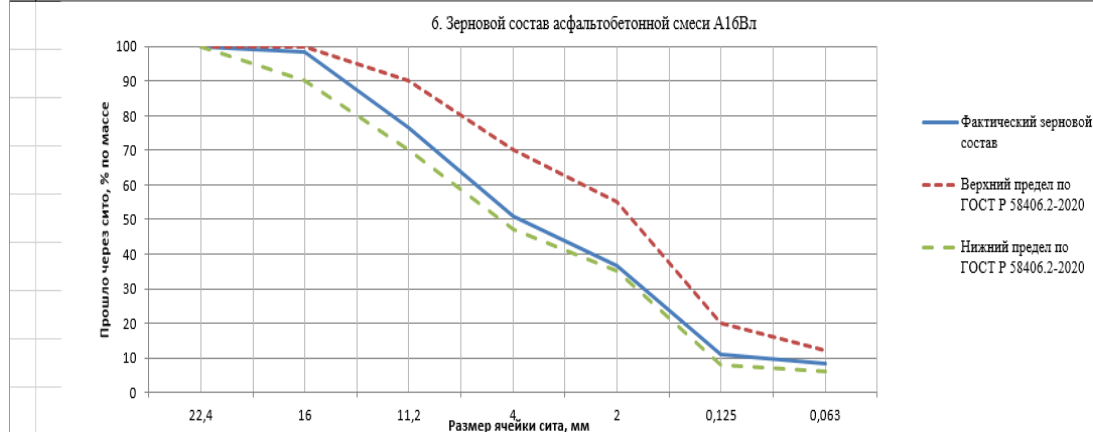
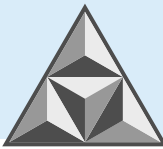


Рис. 6. Определение оптимального зернового состава асфальтобетонной смеси А16Вл на основе битума БНД 70/100

Fig. 6. Determination of the optimal grain composition of the А16Vn asphalt mixture based on BND 70/100 bitumen



Состав асфальтобетонной смеси №4.3/2023

А16Вн с добавкой ДорАрм по ГОСТ Р 58406.2-2020

№ п/п	Наименование материалов	Состав а/б смеси при подборе, % (битум сверх 100%)	Средняя и истинная плотность, г/см ³	Зерновой состав(прошло через сито с отверстиями мм), % от массы											
				22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
				1	Щебень габбро-диабаз фр. 11,2-16 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чезжавара"	2,96	100,00	94,08	10,80	1,32	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Щебень габбро-диабаз фр. 8-11,2 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чезжавара"	2,98	100,00	100,00	94,94	8,04	0,56	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
3	Щебень габбро-диабаз фр. 4-8 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чезжавара"	2,96	100,00	100,00	100,00	93,88	38,68	3,68	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
4	Песок дробленый М1400, габбро-диабаз, ООО "ПГК", месторождение "Чезжавара"	3,06	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,78	66,33	45,18	30,35	23,79	14,46	9,65	
5	Минеральный порошок МП-2 ЗАО "Завод Ковровский доломит молотый"	2,89	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,18	86,24

2. Зерновой состав асфальтобетонной смеси

Состав смеси		%	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1	Щебень габбро-диабаз фр. 11,2-16 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чезжавара"	26,0	26,0	24,5	2,8	0,3	0,2	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,2
2	Щебень габбро-диабаз фр. 8-11,2 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чезжавара"	8,0	8,0	8,0	7,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0
2	Щебень габбро-диабаз фр. 4-8 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чезжавара"	13,0	13,0	13,0	13,0	12,2	5,0	0,5	0,0	0	0	0	0,0	0,0
3	Песок дробленый М1400, габбро-диабаз, ООО "ПГК", месторождение "Чезжавара"	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	46,4	32,5	22,1	14,9	11,7	7,1	4,7	
4	Минеральный порошок МП-2 ЗАО "Завод Ковровский доломит молотый"	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,4	
5	Сумма	100,0	100,0	98,5	76,4	66,1	58,2	50,9	36,5	26,1	18,9	15,7	11,0	8,3
6	Зерновой состав по ГОСТ Р 58406.2-2020		100,0	90,0	70,0	-	-	70,0	55,0	-	-	-	20,0	12,0
7	Зерновые составы фактические		100,0	98,5	76,4	66,1	58,2	50,9	36,5	26,1	18,9	15,7	11,0	8,3

3. Состав асфальтобетонной смеси

№ п/п	Наименование материалов	Насыпная плотность г/см ³	Состав минеральной части асфальтобетонной смеси, % (битум сверх 100%)	Состав минеральной части асфальтобетонной смеси, % (битум в 100%)	Дозировка, кг на 1 тонну	Дозировка материалов на замес, кг	
						25	
						фракция	количество
1	Щебень габбро-диабаз фр. 11,2-16 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чезжавара"	1,65	26,0	25,0	249,8	16-22,4	0,4
2	Щебень габбро-диабаз фр. 8-11,2 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чезжавара"		8,0	7,7	76,8	8-16	7,8
3	Щебень габбро-диабаз фр. 4-8 М1400 ООО "ПГК", месторождение "Чезжавара"	1,69	13,0	12,5	124,9	4-8	3,7
4	Песок дробленый М1400, габбро-диабаз, ООО "ПГК", месторождение "Чезжавара"	1,70	49,0	47,1	470,7	0-4	11,2
5	Минеральный порошок МП-2 ЗАО "Завод Ковровский доломит молотый"		4,0	3,8	38,4		1,0
6	Модификатор ДорАрм		0,40	0,38	3,8		0,1
7	Битум БНД 70-100 ООО "ЛУКОЙЛ-Нижгороднефтеоргсинтез"		4,1	3,9	39,4		1,0
8	Сумма		104,1	100,4	1000,0	сумма	25,00

4. Физические и эксплуатационные показатели асфальтобетонной смеси

№ п/п	Наименование показателей	Требования ГОСТ Р 58406.2-2020	Проектные показатели
1	Объемная плотность, г/см ³		2,640
2	Максимальная плотность, г/см ³		2,740
3	Пустоты в минеральном заполнителе (ПМЗ), %	не менее 12	15,7
4	Содержание воздушных пустот, %	от 2,5 до 4,5	3,6
5	Пустоты, наполненные битумным вяжущим (ПНБ), %	67-80	76,7
6	Средняя глубина колеи, мм	не более 4,5	4,4
7	Коэффициент водостойкости	не менее 0,85	0,88
8	Удельное содержание радионуклидов, Бк/кг	до 740	41,2
9	Диапазон смешивания, °С		157,3-162,9
10	Диапазон уплотнения, °С		145,8-150,9

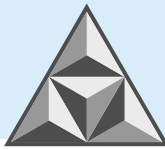
5. Предельно допустимые отклонения отдельных показателей от состава

№ п/п	Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.2-2020	Фактические значения	Границы отклонения	
				минимальная	максимальная
1	Содержание воздушных пустот, % от объема	± 1,4	3,6	2,2	5,0
2	Количество вяжущего в смеси (сверх 100 %), %	± 0,5	4,1	3,6	4,6
3	Количество вяжущего в смеси (в 100 %), %	± 0,5	3,9	3,4	4,4
4	Проход через сито, на один размер меньше номинального максимального размера (сито 11,2 мм), % по массе	± 6,0	76,4	70,4	82,4
5	Проход через сито 4 мм, % по массе	± 6,0	50,9	44,9	56,9
6	Проход через сито 2 мм, % по массе	± 6,0	36,5	30,5	42,5
7	Проход через сито 0,125 мм, % по массе	± 4,0	11,0	7,0	15,0
8	Проход через сито 0,063 мм, % по массе	± 4,0	8,3	4,3	12,3

Рис. 7. Подбор состава асфальтобетонной смеси А16Вн с включением модификатора «ДорАрм»

Fig. 7. Selection of the composition of the А16Вn asphalt concrete mixture with the DorArm modifier

Протоколы испытаний базового состава асфальтобетона и асфальтобетона с включением модификатора «ДорАрм» приведены на рис. 8.



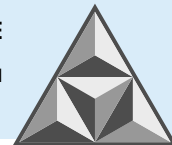
ПРОТОКОЛ № 1/А16Вн										
лабораторных испытаний асфальтобетонной смеси										
Вид и тип а/б смеси:		А16Вн								
Место отбора пробы:		Мешалка лабораторная МЛА-30								
Дата отбора пробы:		19.03.2024 г.								
Результаты лабораторных испытаний										
№ п/п	Наименование показателя	Ед. измерения	Фактическое значение	Требование ГОСТ Р 58406.2-2020/рецепта						
1.	Объемная плотность	г/см ³	2,640	-						
2.	Коэффициент водостойкости		0,88	не менее 0,85						
2.	Средняя глубина колеи	мм	4,4	не более 4,5						
3.	Содержание воздушных пустот		3,65	от 2,0 до 4,5						
5.	Пустоты в минеральном заполнителе (ПМЗ)		15,70	до 2,2 до 5,0						
6.	Пустоты, наполненные битумным вяжущим (ПНБ)		76,75	не менее 12						
4.	Максимальная плотность	г/см ³	2,740	67-80						
Зерновой состав минеральной части асфальтобетонной смеси										
№ п/п	Наименование	Размер зерен, мм								
		22,4	16,0	11,2	8,0	4,0	2,0	0,125	0,063	менее 0,063
1.	Частные остатки, г.	0,00	61,50	377,88	266,88	296,08	241,35	421,59	63,24	205,38
2.	Частные остатки, %	0,00	3,18	19,54	13,80	15,31	12,48	21,80	3,27	10,62
3.	Полные остатки, %	0,00	3,18	22,72	36,52	51,83	64,31	86,11	89,38	100,00
4.	Полные проходы, %	100,00	96,82	77,28	63,48	48,17	35,69	13,89	10,62	
5.	Полные проходы по рецепту	-	-	70,4-82,4	-	44,9-56,9	30,5-42,5	7,0-15,0	4,3-12,3	
Масса навески после экстрагирования:		1933,9								
Масса навески до экстрагирования:		2025,3								
Содержание битума в 100% смеси:		4,51%								
Содержание битума сверх 100 %:		4,73%								

ПРОТОКОЛ № 2/А16Вн										
лабораторных испытаний асфальтобетонной смеси										
Вид и тип а/б смеси:		А16Вн + ДорАрм								
Место отбора пробы:		Мешалка лабораторная МЛА-30								
Дата отбора пробы:		19.03.2024 г.								
Результаты лабораторных испытаний										
№ п/п	Наименование показателя	Ед. измерения	Фактическое значение	Требование ГОСТ Р 58406.2-2020/рецепта						
1.	Объемная плотность	г/см ³	2,645	-						
2.	Коэффициент водостойкости		0,88	не менее 0,85						
2.	Средняя глубина колеи	мм	3,0	не более 4,5						
3.	Содержание воздушных пустот		3,50	от 2,0 до 4,5						
5.	Пустоты в минеральном заполнителе (ПМЗ)		15,50	до 2,2 до 5,0						
6.	Пустоты, наполненные битумным вяжущим (ПНБ)		77,40	не менее 12						
4.	Максимальная плотность	г/см ³	2,741	67-80						
Зерновой состав минеральной части асфальтобетонной смеси										
№ п/п	Наименование	Размер зерен, мм								
		22,4	16,0	11,2	8,0	4,0	2,0	0,125	0,063	менее 0,063
1.	Частные остатки, г.	0,00	66,85	479,51	308,14	203,06	195,76	506,40	45,53	115,84
2.	Частные остатки, %	0,00	3,48	24,96	16,04	10,57	10,19	26,36	2,37	6,03
3.	Полные остатки, %	0,00	3,48	28,44	44,48	55,05	65,24	91,60	93,97	100,00
4.	Полные проходы, %	100,00	96,52	71,56	55,52	44,95	34,76	8,40	6,03	
5.	Полные проходы по рецепту	-	-	70,4-82,4	-	44,9-56,9	30,5-42,5	7,0-15,0	4,3-12,3	
Масса навески после экстрагирования:		1921,1								
Масса навески до экстрагирования:		2012,2								
Содержание битума в 100% смеси:		4,53%								
Содержание битума сверх 100 %:		4,74%								

Рис. 8. Результаты лабораторных испытаний асфальтобетонной смеси по ГОСТ Р 58406.2-2020 и с включением модификатора «ДорАрм»

Fig. 8. Results of laboratory tests of asphalt concrete mixture according to GOST R 58406.2-2020 and with the DorArm modifier

Из полученной смеси изготовлены и испытаны образцы асфальтобетона при устройстве покрытий дорожных одежд на объектах, возводимых ГУП ДСУ-3 во Владимирской области. В большинстве случаев исследовали смесь, проектированную под требования к асфальтобетону марки А16Вн. Рассматриваемый эффект заключается в улучшении



удобоукладываемости смеси и уменьшении эффекта колееобразования, что должно повысить эффективность работы асфальтоукладчиков и улучшить эксплуатационные характеристики устраиваемых покрытий (рис. 9).



Рис. 9. Акт комиссионного обследования контрольного участка с ROADLINER MBNB-P

Fig. 9. Commissioned inspection report of the control section with ROADLINER MVNB-R

Результаты лабораторных исследований подтвердили эффективность предложенной авторами методики, основанной на непосредственном введении модификатора «ДорАрм» в смеситель на этапе приготовления асфальтобетонной смеси.

ВЫВОДЫ

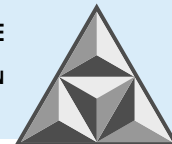
Внесение модификатора «ДорАрм» в асфальтосмесительную установку позволяет исключить из технологической цепочки этап производства полимербитумного вяжущего. Эффект достигается за счет снижения затрат людских ресурсов и уменьшения энергозатрат. Кроме того, при введении указанного модификатора в смеситель не требуется нагревание, что упрощает технологический процесс.

Анализ результатов лабораторных исследований подтвердил улучшение физико-механических и эксплуатационных показателей асфальтобетонных смесей, изготовленных по предлагаемой технологии.

Можно предположить, что введение модификатора «ДорАрм» непосредственно в смесительную установку на конечном этапе приготовления асфальтобетонной смеси позволит увеличить межремонтные сроки покрытий дорожных одежд и снизить производственные и эксплуатационные затраты строительных организаций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Кириухин Г.Н.** Стратегия выбора битумных вяжущих при проектировании и строительстве асфальтобетонных покрытий // *Автомобильные дороги*. 2015. Вып. 5. С. 98-102.
2. **Беляев П.С., Полушкин Д.Л., Makeев П.В., Фролов В.А.** Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками // *Вестник ТГТУ*. 2016. Том 22. № 2. С. 264-271.
3. **Проваторова Г.В., Рябина К.М.** Улучшение свойств асфальтобетонов путем их модификации, сравнительный анализ применяемых добавок // *Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: Электр. сб. ст. V Межд. науч. конф.* Новополюцк, 2024. С. 190-193. URL: <https://elib.psu.by/bitstream/123456789/44344/1/267-274.pdf> (дата обращения 06.06.2025).
4. Технический паспорт добавки «АрмДор» (сопроводительный документ добавки).
5. **Zhelezko E., Zhelezko T., Uralev I. et al.** // *Automobile roads*. 2002. № 1. P. 12-14.



6. **Вихрев А.В., Кандашкина Ю.С.** Перспективы использования неокисленного битума в дорожном строительстве // *Строительные материалы*. 2025. № 1-2. С. 108-113.
7. **Гандельман И., Закревская Л., Проваторова Г.** Влияние модифицированных связующих на технологические и эксплуатационные свойства композиционных строительных материалов // Межд. науч. конф. по энергетике, охране окружающей среды и строительству (EECE-2018). Сер. MATEC Web of Conf. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824503017> (дата обращения 06.06.2025).
8. **Проваторова Г., Вихрев А.** Modification of Bitumen for Road Construction // *MPCPE: Int. Conf. Mat. Physics, Build. Struct. Technol. in Constr., Ind. and Prod. Eng.* 2021. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48131479> (дата обращения 06.06.2025).
9. **Проваторова Г.В., Рябинина К.М.** Применение габбро-диабазов при приготовлении асфальтобетонных смесей // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3. Вып. 2. С. 68-79. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5042/view>
10. **Ryabinina K.M., Provatorova G.V.** Investigation of the properties of asphalt concrete on polymer-modified bitumen // *Construction Materials and Products*. 2022. 5 (4). P. 19-29. DOI: <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-4-19-29>.

Поступила в редакцию 07.07.2025

Одобрена после рецензирования 21.07.2025

Принята к опубликованию 04.08.2025

REFERENCES

1. **Kiryukhin, G.N.** (2015), "Strategy for selecting bitumen binders in the design and construction of asphalt concrete pavements", *Automobile Roads magazine*, Iss. 5, pp. 98-102 (in Russian).
2. **Belyaev, P.S., Polushkin, D.L., Makeev, P.V. and Frolov, V.A.** (2016), "Petroleum Bitumen Modified by Polymer Materials for Asphalt Concrete Surfacing with Improved Operational Performance", *Bul. TSTU*, vol. 22, no. 2, pp. 264-271 (in Russian).
3. **Provatorova, G.V. and Ryabinina, K.M.** (2024), Improving the properties of asphalt concrete by modifying them. Comparative analysis of the additives used, *Architectural and construction complex: problems, prospects, innovations, Electr. Coll. Art. V Inter. Sci. Conf.*, Novopolotsk, pp. 190-193. <https://elib.psu.by/bitstream/123456789/44344/1/267-274.pdf> (in Russian).
4. Technical Passport of the ArmDor additive (accompanying document of the additive) (in Russian).
5. **Zhelezko, E., Zhelezko, T. and Urale, L. et al.** (2002), *Automobile roads [electronic resource]*, no. 1, pp. 12-14.
6. **Vikhrev, A.V. and Kandashkina, Yu.S.** (2025), "Prospects for the use of unoxidized bitumen in road construction", *J. Constr. Mat.*, no. 1-2, pp. 108-113. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80660605> (in Russian).
7. **Gandelman, I., Zakrevskaya, L. and Provatorova, G.** (2018), The influence of modified binders on the technological and operational properties of composite building materials, in: *Electr. publ., Int. Sci. Conf. on Energy, Environment and Construction (EECE-2018)*. Ser. MATEC, Web of Conf. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824503017> (in Russian).
8. **Provatorova, G. and Vikhrev, A.** (2018), Modification of Bitumen for Road Construction, *MPCPE: Int. Conf. Mat. Physics, Build. Struct. Technol. in Constr., Ind. and Prod. Eng.*, 2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=48131479> (in Russian).
9. **Provatorova, G.V. and Ryabinina, K.M.** (2022), "Application of gabbro-dabase in the preparation of asphalt mixtures", *Smart Composite in Construction*, vol. 3, no. 2, pp. 68-79 [online]. Available at: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5042/view> (in Russian).
10. **Ryabinina, K.M. and Provatorova, G.V.** (2022), "Investigation of the properties of asphalt concrete on polymer-modified bitumen", *Construction Materials and Products*, vol. 5, no. 4, pp. 19-29. DOI: <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-4-19-29> (in Russian).

Received 07.07.2025

Approved 21.07.2025

Accepted 04.08.2025