

## Использование модификатора на основе активного резинового порошка в асфальтобетонных смесях

*Н.Н. Семенов, О.В. Артемьева, Г.У. Ярмухаметова,  
Д.А. Сеницин, Э.А. Галлямов*

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

**Аннотация:** Представленная статья раскрывает вопрос использования отходов автомобильной промышленности резинотехнических изделий как один из возможных способов улучшения качества дорожного асфальтобетонного покрытия, и, соответственно, сокращения количества ремонтных мероприятий и материальных затрат на их проведения и увеличения срока эксплуатации дорожного полотна.

Проведённые испытания показывают, что асфальтобетонная смесь с применением модификатора на основе активного резинового порошка демонстрирует лучшие механические и эксплуатационные характеристики. Увеличивается прочность и упругость асфальтобетона, а также, снижается истираемость, что ведёт к более долгому времени использования данного полотна.

Такие изменения в характеристиках дорожного полотна благоприятно влияют на экономическую сторону вопроса. Улучшение качества готового изделия увеличивает временные промежутки между ремонтными действиями, что сокращает материальные и ресурсные затраты.

Улучшается сцепление дороги с резиной машины, что снижает риск аварийности при различных климатических условиях. Также, замечен меньший износ автомобильной покрышки.

Ниже приведены данные по проведённому эксперименту использования резиновой крошки в роли модифицирующего вещества.

**Ключевые слова:** асфальтобетон, асфальтобетонная смесь, автомобильные отходы, резиновая крошка, модификатор, активный резиновый порошок.

Результаты испытаний асфальтобетона с применением модификатора на основе активного резинового порошка.

В течение последних лет идет интенсивная разработка модификаторов на основе резинового порошка для улучшения свойств асфальтобетонной смеси, так как количество резинотехнических отходов с каждым годом колоссально растет, увеличивается количество машин на дорогах, соответственно, увеличивается нагрузка на полотно, поэтому нужны решения для повышения качественных и эксплуатационных характеристик асфальтобетона [1]. Дорожное строительство - это подходящее направление

для привлечения новых идей с повторным использованием промышленных отходов.

Применение резиновой крошки в роли модификатора очень благоприятно сказывается на уже готовом асфальтобетонном продукте. Свойства асфальтобетона улучшаются, соответственно, повышается качество покрытия, тем самым сокращается необходимость в проведении ремонтных работ, следовательно, снижаются общие материальные затраты на обеспечение дорожного полотна [2].

Резиновая крошка автомобильных покрышек в роли наполнителя модификатора показывает высокие характеристики [3].

Для того, чтобы испытать и проверить свойства готового асфальтобетона с использованием данного модификатора необходимо произвести пробную лабораторную партию модифицированной добавки, основой которого является активный резиновый порошок.

В лабораторных условиях были изготовлены контрольные образцы нескольких видов асфальтобетонных смесей, которые чаще всего используются для возведения верхнего дорожного слоя полотна и такие же смеси с добавлением модификатора (асфальтобетонная смесь А16Вт по ГОСТ 58406.2-2020, а также щебеночно-мастичная смесь ЩМА-16 по ГОСТ 58406.1-2020).

Исходные материалы для асфальтобетонных смесей.

Для производства указанных смесей были использованы следующие компоненты:

- щебень гранитный фр. 11,2-16 мм;
  - щебень гранитный фр. 8-11,2 мм;
  - щебень гранитный фр. 4-8 мм;
  - песок дробленый фр. от 0 до 4мм;
  - минеральный порошок МП-1 (неактивированный);
-

- битум нефтяной дорожный вязкий марки БНД 70/100;
- адгезионная добавка АМДОР-10 для повышения качества сцепления, вяжущего с минеральными материалами;
- стабилизирующая добавка VIATOR 66 на основе целлюлозного волокна для предотвращения стекания битумного вяжущего, соответствующая требованиям ГОСТ (только для щебеночно-мастичной смеси ЩМА-16).

Далее были проведены испытания асфальтобетонных образцов по следующим характеристикам:

- объемная плотность;
- максимальная плотность (метод А);
- содержание воздушных пустот;
- глубина колеи и угол наклона кривой колееобразования;
- коэффициент водостойкости;
- деформация по Маршаллу и разрушающая нагрузка по Маршаллу;
- истираемость асфальтобетона [4].

Изначально, после определения компонентов смесей, был определен зерновой состав минеральных частей каждой выбранной смеси, после чего в соответствии с ГОСТ проектировались составы самих смесей.

Итоги проектирования зернового состава асфальтобетонной смеси А16Вт представлены в таблице 1.

На рис. 1 отображено, что показатели гранулометрического состава смеси являются оптимальными и соответствующими требованиям ГОСТ [5].

Подходящим количеством вяжущего вещества для того, чтобы образовывалось необходимое количество пустот в смеси было принято 4.2% по массе выше 100%.

Адгезионная добавка была добавлена в размере 0.3% от массы битума.

Таблица 1

Зерновой состав асфальтобетонной смеси А16Вт

	% по массе	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Щебень фр. 11,2-16 мм	31,3	31,3	28,5	5,3	1,0	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Щебень фр. 8-11,2 мм	7,6	7,6	7,6	6,9	1,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Щебень фр. 4-8 мм	16,2	16,2	16,2	16,2	15,8	9,4	2,1	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Песок из отсевов дробления	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	40,4	26,5	17,3	12,0	8,5	6,2	4,2
Минеральный порошок	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,0	2,7	2,3
ИТОГО	100,0	100,0	97,1	73,2	62,9	54,9	46,1	30,6	21,1	15,8	12,2	9,6	7,1
Требования ГОСТ Р 58406.2	100	от 90 до 100	От 70 до 85				От 37 до 58	От 25 до 40				От 7 до 17	От 5 до 9

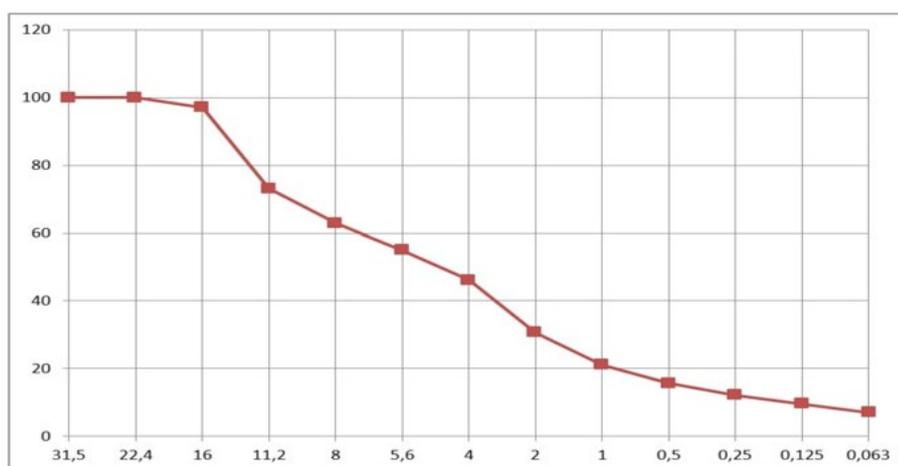


Рис. 1 - Гранулометрическая кривая состава асфальтобетонной смеси А16Вт (% прошедший через сито/ размер сита, мм)

Итоги проектирования зернового состава асфальтобетонной смеси ЩМА-16 представлены в таблице 2.

На рис. 2 видно, что показатели гранулометрического состава смеси оптимальны и соответствуют требованиям ГОСТ 58406.1.

Подходящим количеством вяжущего вещества для того, чтобы образовывалось необходимое количество пустот в смеси, было принято 5,2% по массе сверх 100% [6].

Таблица 2

Зерновой состав асфальтобетонной смеси ЦМА-16

	% по массе	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Щебень фр. 11,2-16 мм	42,9	42,9	38,9	7,2	1,3	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Щебень фр. 8-11,2 мм	19,1	19,1	19,1	17,3	3,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Щебень фр. 4-8 мм	8,8	8,8	8,8	8,8	8,5	5,1	1,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Песок из отсевов дробления	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,2	12,6	8,2	5,7	4,1	2,9	2,0
Минеральный порошок	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,3	8,9	8,2	6,7
ИТОГО	100,0	100,0	96,1	62,5	42,5	35,4	30,5	23,0	18,4	15,8	13,8	11,9	9,5
Требования ГОСТ Р 58406.1		100	От 90 до 100	От 50 до 75	От 35 до 50		От 23 до 38	От 18 до 28					От 7 до 12

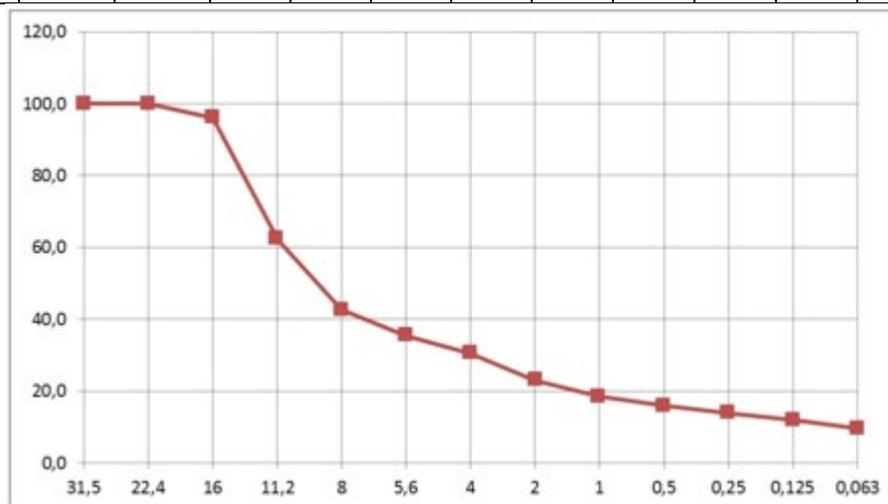


Рис. 2. - Гранулометрическая кривая состава щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЦМА-16 (% прошедший через сито/ размер сита, мм)

Адгезионная добавка была добавлена в размере 0.3% от массы битума, стабилизирующая добавка VIATOR 66 – 0,45% от массы смеси.

Модификатор на основе активного резинового порошка [7]. Это многокомпонентный материал, который состоит из крошки, переработанной и измельченной автомобильной резины, основа которой неполярные каучуки,

изначально активированной пластификатором, а также целевых и функциональных добавок.

Для более эффективной работы модификатора важны размер и качество измельчения резины, так как величина удельной площади поверхности материала является важным элементом в образовании единой структуры асфальтобетонного покрытия.

В таблице 3 представлены физико-механические свойства модификатора, соответствующие ГОСТ.

Таблица 3

Физико-механические свойства модификатора

Наименование показателя, единица измерения	Требования	Факт
Остаток на сите 0,9 мм при просеивании, %, не более	2	0,0
Индекс агломерации (слеживаемость), баллы, не менее	8	9,5
Насыпная плотность, г/см	0,47±0,05	0,48
Влажность, % по массе, не более	8	6,2

Чтобы избежать слеживания материала, он обрабатывается тальком.

Данный модификатор более чем на 90% процентов состоит из активного резинового порошка и его физико-механические свойства соответствуют ГОСТ [8], приведенные в таблице №4.

Проведение лабораторных опытов осуществлялось с данным модификатором на основе активного резинового порошка в сыпучем виде, а для полноценного и более удобного его применения на асфальтобетонном заводе модификатор гранулируют и подают в смеситель через дозатор стабилизирующих добавок без дополнительных изменений оснащения асфальтобетонного завода [9].

Для проведения опытов было определено следующее процентное соотношение модификатора относительно минеральной части смесей:

- 0,3% - для А16Вт;

- 0,4% - для ЩМА-16.

Результаты испытаний контрольных асфальтобетонных проб и проб с модификатором на основе активного резинового порошка [10].

Таблица 4

Физико-механические свойства основного сырья

Наименование показателя, ед. изм.	Требования	Факт
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,35±0,05	0,39
Остаток на сите 0,9 мм при просеивании, %	0 (остаток на сите отсутствует)	0,0
Удельная поверхность (фракция более 0,63 мм), м <sup>2</sup> /г, не менее	0,071	0,118
Способность к самовулканизации, число выкрашиваемых частиц	Выкрашиваемые частицы отсутствуют	Отсутствуют

Контроль показателей сравниваемых проб с модификатором и без, в течение лабораторных опытов, осуществлялся по следующим характеристикам:

Объемные характеристики асфальтобетона и степень влияния добавки на них:

- объемная плотность;
- максимальная плотность;
- количество пустот.

Механические характеристики:

- разрушающая нагрузка по Маршаллу;
- деформация по Маршаллу;
- коэффициент водостойкости и адгезионные свойства.

А также эксплуатационные характеристики:

- глубина колеи и угол наклона кривой колееобразования;
- истираемость.
- отмечается рост разрушающей нагрузки по Маршаллу, приблизительно десять процентов, за счет укрепления структуры резиновым

модификатором, увеличивается степень прочности готового асфальтобетона;

- также показатель деформации по Маршаллу растет на 20-30%, что говорит об улучшении эластичности асфальтобетонного полотна;
- в связи с улучшением вышеуказанных характеристик, соответственно, снижается степень глубины колеи до 30%;
- показатель угла наклона кривой колееобразования уменьшается до 30%, что ведет к снижению вероятности образования колеи;
- величина коэффициента водостойкости и адгезионные свойства остаются неизменными;
- показатель истираемости асфальтобетонного материала повышается до 40%, так как было повышение упругих свойств полотна, соответственно, данный вид асфальтобетона становится выше классом по истираемости [11].

Таблица 5

Физико-механические и эксплуатационные свойства

Наименование характеристики	A16Вт контрольная	A16Вт + модификатор – 0,3%	ЩМА16 контрольная	ЩМА16 + модификатор – 0,4%
Максимальная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2,772	2,757	2,821	2,811
Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2,660	2,651	2,723	2,719
Количество воздушных пустот, %	4,0	3,8	3,5	3,3
Разрушающая нагрузка по Маршаллу, Н	9270	9831	6826	7236
Деформация по Маршаллу, мм	2,39	3,32	2,50	3,03
Глубина колеи, мм	3,94	2,89	3,29	2,34
Угол наклона кривой	0,14	0,10	0,09	0,07
Коэффициент водостойкости	0,89	0,88	0,86	0,87
Оценка адгезионных свойств	5	5	5	5
Истираемость, см <sup>3</sup>	31,54	21,14	27,36	16,45
Класс по истираемости	2	1	2	1

Выводы по результатам испытаний асфальтобетонных образцов с модификатором на основе активного резинового порошка.

Все результаты испытаний представлены в сводной таблице 5.

Как показали лабораторные испытания, асфальтобетонные смеси с применением в их составе модификатора на основе резинового порошка могут быть использованы в качестве основного сырья для устройства дорог высшей категории с повышенными эксплуатационными нагрузками [12]. Увеличение прочности, эластичности, износостойкости, стойкости к колееобразованию дорожного полотна ведет к увеличению эксплуатационного периода, а, соответственно, значительной экономии материальных и временных затрат при ремонте и восстановительных работах.

Подготовка основного сырья для модификатора является ресурсо- и трудозатратным процессом, но его использование обоснованно очень важными решениями нескольких вопросов:

- использованием промышленных отходов, которое ведет к снижению их количества;
- повышение качества асфальтобетонных полотен;
- снижение материальных и временных затрат на проведение ремонтных работ [13].

### Литература

1. Porto M., Caputo P., Loise V., Eskandarsefat S., Teltayev B., Rossi C. Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances //Applied sciences (Switzerland). Appl. Sci. 2019. №9. p. 742.
2. Hadadi, V. Effect of Concentration and Size of Crumb Rubber on Rheological and Cold Bending Properties of Bitumen// Iranian Journal of Polymer Science & Technology . 2020. 32. pp. 475–483.
3. Горелышев Н.В. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы: Учебно-методич. пособие. – М.: Можайск – Терра, 1995. С. 175.

4. Горбунов, Г. И. Основы строительного материаловедения: учебное пособие. – Москва: Издательство АСВ. – 2002. 168 с.

5. Гохман Л.М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон: Учебно-метод. пособие. - М.: ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ», 2008. 117 с.

6. Ковалёв Я.Н., Кравченко С.Е., Шумчик В.К. Дорожно-строительные материалы и изделия: Учебно-метод. пособие. - Минск; М.: ИНФРА-М, 2017. 630 с.

7. Высоцкая М.А., Федоров М.Ю. Разработка наномодифицированного наполнителя для асфальтобетонных смесей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им.В.Г. Шухова. 2013. №6. С. 61-65.

8. Мелихов О.О., Шинтяпкин В.В., Сараев Д.С. О методах снижения энергозатрат и сохранения качества битума в процессе его подготовки на асфальтобетонном заводе // Инженерный вестник Дона. 2012. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1383](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1383).

9. Полякова С.В., Васильев Ю.Э. Исследование возможности применения пластиковых отходов в дорожном хозяйстве с учетом зарубежного опыта // Дороги и мосты. 2024. № 1 (51). С. 241-267.

10. Гончарова М.А., Ткачева И.А. Применение отходов цементной промышленности в составах щебеночно-мастичных асфальтобетонов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 12 (756). С. 34-40.

11. Шишакина О.А., Паламарчук А.А. Обзор направлений утилизации техногенных отходов в производстве строительных материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 4. С. 198-203.

---

12. Иноземцев С.С., Королев Е.В. Техничко-экономическая эффективность применения наномодифицированного наполнителя для асфальтобетона // Вестник МГСУ. 2018.Т. 13. № 4 (115). С.536-443.

13. Кочерга В.Г., Зырянов В.В. Кулик Е.П. Всепогодный ремонт покрытий автодорог с использованием модифицированных холодных асфальтобетонных смесей // Инженерный вестник Дона. 2012. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/855.

### References

1. Porto M., Caputo P., Loise V., Eskandarsefat S., Teltayev B., Rossi C. Applied sciences (Switzerland) Appl. Sci. 2019. №9. pp. 742.

2. Hadadi, V. Iranian Journal of Polymer Science & Technology. 2020. 32. pp. 475–483.

3. Gorelyshev N.V. Asfaltobeton i drugie bitumomineralnye materialy: Uchebno-metodich. posobie [Asphalt concrete and other bitumen-mineral materials]. M.: Mozhajsk. Terra, 1995. S. 175.

4. Gorbunov, G. I. Osnovy stroitel'nogo materialovedeniya: uchebnoe posobie. [Fundamentals of Building Materials Science: a textbook]. Moskva: Izdatel'stvo ASV. 2002. 168 p.

5. Goxman L.M. Bitумы, polimerno-bitumnyye vyazhushhie, asfaltobeton, polimerasfaltobeton: Uchebno-metod. posobie. [Bitumen, polymer-bitumen binders, asphalt concrete, polymerasfalt concrete]. M.: ZAO «E`KON-INFORM», 2008. 117 p.

6. Kovalyov Ya.N., Kravchenko S.E., Shumchik V.K. Dorozhno-stroitel'nye materialy i izdeliya Posobie [Road construction materials and products]: Uchebno-metod. Minsk; M.: INFRA-M, 2017. 630 p.



7. Vysoczkaya M.A., Fedorov M.Yu. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo universiteta im.V.G. Shuxova. 2013. №6. pp. 61-65.
8. Melixov O.O., Shintyapkin V.V., Saraev D.S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1383](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1383).
9. Polyakova S.V., Vasilev Yu.E. Dorogi i mosty. 2024. № 1 (51). pp. 241-267.
10. Goncharova M.A., Tkacheva I.A. Izvestiya vysshix uchebnyx zavedenij. Stroitelstvo. 2021. № 12 (756). pp. 34-40.
11. Shishakina O.A., Palamarchuk A.A. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyx i fundamentalnyx issledovanij. 2019. № 4. pp. 198-203.
12. Inozemcev S.S., Korolev E.V. Vestnik MGSU. 2018. Т. 13. № 4 (115). pp. 536-443.
13. Kocherga V.G., Zyryanov V.V. Kulik E.P. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/855](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/855).

**Дата поступления: 13.02.2025**

**Дата публикации: 26.03.2025**