

EDN: GJRYSK

УДК 691.17

Э. Л. РАДЮКОВАФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевка, г. Макеевка**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВТОРИЧНОГО КАУЧУКА МАРКИ
«УНИРЕМ» ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ МОДИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ
АСФАЛЬТОБЕТОНА**

Аннотация. Статья посвящена исследованию комплексной модификации дорожных асфальтобетонов вторичным каучуком «УНИРЕМ» с целью повышения их долговечности в условиях интенсивного дорожного движения и экстремальных климатических воздействий. Перспективы применения модифицированных асфальтобетонов включают: пересмотр строительных стандартов с учетом инновационных составов; повышение эффективности использования ресурсов в результате уменьшения объемов отходов, экономическую выгоду через сокращение расходов на регулярные ремонтные работы, а также возможность интеграции этих материалов в современные строительные практики. Разработка стандартов качества для комплексно-модифицированных асфальтобетонов с использованием вторичного каучука «УНИРЕМ» представляет перспективу для их широкого внедрения в инфраструктурные проекты, способствуя тем самым устойчивому развитию автомобильно-транспортной сети. Применение этого модификатора позволяет получить асфальтобетон с нормативными механическими и эксплуатационными характеристиками, что способствует увеличению срока службы дорожных покрытий и снижению затрат на их обслуживание.

Ключевые слова: нефтяной дорожный битум, резиновая крошка, асфальтобетон, полимерный модификатор «УНИРЕМ».

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В современных технологиях строительства и реконструкции дорожных покрытий активно исследуются и внедряются инновационные материалы и технологии с целью повышения долговечности асфальтобетонных нежестких дорожных одежд. Одним из таких перспективных направлений является использование комплексно-модифицированных вторичных каучуков, в частности, продукта под названием «УНИРЕМ» [1, 2]. Этот материал, обладающий уникальными свойствами, представляет собой сыпучий композиционный материал на основе активного порошка дискретно девулканизированной резины. В данной статье рассмотрены перспективы применения «УНИРЕМ» для модификации дорожных асфальтобетонов с целью достижения повышенной долговечности асфальтобетонных покрытий.

Дорожные битумы характеризуются узким интервалом пластичности, низкой температурой размягчения, которая не превышает 60 °С, что является недостаточным для обеспечения сдвиговой устойчивости верхних слоев дорожного покрытия в климатических условиях Донецкой Народной Республики и центральной части Российской Федерации. Кроме того, вязкие дорожные битумы практически лишены эластичности, которая необходима для предотвращения разрушений асфальтобетона под воздействием циклических нагрузок [3]. Следовательно, актуальным остается вопрос о повышении эффективности использования асфальтобетонных смесей при устройстве покрытий нежестких дорожных одежд, в том числе с применением технологий модификации органических вяжущих вторичным каучуком «УНИРЕМ».



АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В мире накоплен значительный опыт материаловедческих решений по повышению усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий: снижение пористости асфальтобетона, повышение вязкости битума, введение модифицирующих, упрочняющих добавок, использование армирующих прослоек. Модификация битумов проводится с целью улучшения таких свойств материалов, как увеличение интервала рабочих температур, снижение уровня пенетрации, повышение адгезии с минеральным наполнителем. Для этого может быть использован метод введения в битум различных модификаторов, например, введение резиновой крошки. Исследования по введению резиновой крошки в дорожный битум выполнялись Н. В. Горельшевым, А. И. Лысихиной, Г. К. Сюньи, И. М. Руденской, Б. М. Слепой и многими другими.

Целью работы является исследование комплексной модификации дорожных асфальтобетонов вторичным каучуком «УНИРЕМ» с целью повышения их долговечности в условиях интенсивного дорожного движения и климатических воздействий.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Модификатор «УНИРЕМ» – это композиционный материал, предназначенный для модифицирования асфальтобетонных смесей, содержащий в качестве основы активный каучуковый порошок дискретно-девулканизированной резины. Получают такой порошок по методу высокотемпературного сдвигового измельчения, который основан на одновременном воздействии на материал интенсивного сжатия, деформирования сдвигом и нагрева (рис. 1). Разработчиком данного метода является Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН.

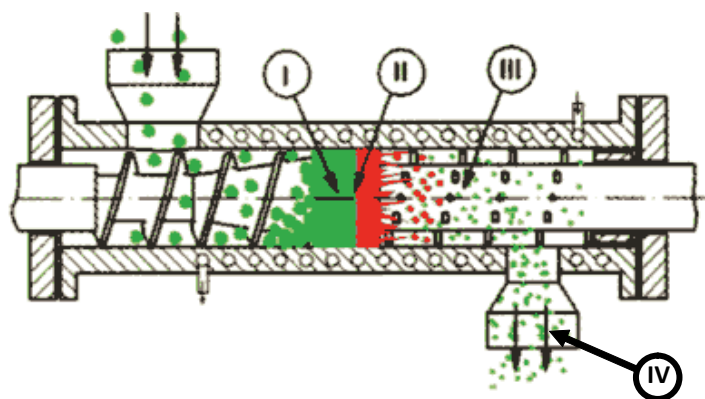


Рисунок 1 – Реактор высокотемпературного сдвигового измельчения: I – фрагменты изношенных автомобильных покрышек; II – уплотнение и быстрый саморазогрев; III – непрерывный «реологический взрыв»; IV – частицы дискретно-девулканизированной резины с нано- и микроблочной структурой.

В процессе обработки в диспергаторе под воздействием высокой температуры ($t = 140...180\text{ }^{\circ}\text{C}$) и значительных сдвиговых усилий ($\tau = 130...200\text{ кг/час}$) материал подвергается измельчению до размеров $0,1..1,5\text{ мм}$, с частичной девулканизацией резины. Образовавшаяся частица представляет собой микроблоки средним размером от $5\text{ до }50\text{ мкм}$, слабо связанные между собой. Эти частицы, не требуют дополнительной обработки, добавляются в битум, где при воздействии высокой температуры ($t = 210...220\text{ }^{\circ}\text{C}$) быстро распадаются на микро- и наноблоки [4].

Производство асфальтобетонных смесей с применением модификатора «УНИРЕМ» не требует изменений в оборудовании. Порошок вводится либо «сухим» способом непосредственно в смеситель с предварительно подогретыми минеральными компонентами, или при приготовлении смеси добавка «УНИРЕМ» вводится в смеситель последней, сразу после битума. Продолжительность перемешивания после введения «УНИРЕМ» должна составлять не менее 1 минуты, а общее время перемешивания определяется характеристиками используемого оборудования, обычно около 2 минут, что в 2–3 раза больше, чем при производстве асфальтобетонных смесей без добавки [5, 10] (рис. 2).

При введении резиновой крошки в асфальтобетонную смесь в минеральную часть, свойства композиций оказываются менее эффективными, чем при введении в битум [6, 7]. Это объясняется тем,

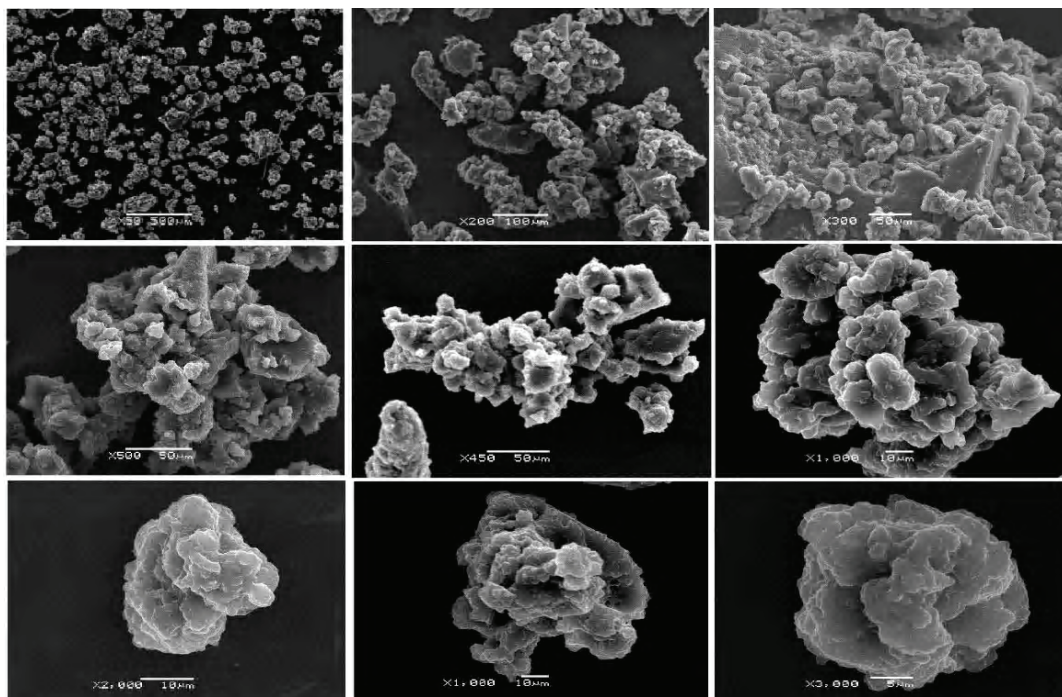


Рисунок 2 – Электронные микрофотографии частиц резиновой крошки «УНИРЕМ» полученной методом высокотемпературного сдвигового измельчения.

что девулканизированная резиновая крошка, вводимая в минеральную часть, адсорбирует минеральный порошок и плохо смачивается битумом.

Исследования показывают, что применение порошковой девулканизированной резины размерами частиц от 0,5 до 1 мм в качестве добавки для модификации нефтяного битума в асфальтобетонных смесях улучшает деформационные и фрикционные свойства дорожных покрытий, а также повышает прочность, стойкость к динамическим воздействиям, морозостойкость и стойкость к растрескиванию покрытия автомобильной дороги при температурных перепадах. Это также решает проблему утилизации отработанной резины [8, 9, 11]. Например, при введении дробленой резины в объеме всего 2 % от массы минерального материала на 1 км дорожного полотна, расходуется до 60...70 т резиновой крошки, что приводит к увеличению срока службы дорожного покрытия в 1,5–3,0 раза [8, 9].

Использование «УНИРЕМ» в противоположность использования резиновой крошки более эффективно, потому что использование резиновой крошки требует учета того, что каучук в основном находится в вулканизированном состоянии и даже при самом тонкодисперсном помоле (менее 1 мм) крошка не полностью растворяется в битуме [10]. В результате взаимодействия битума и частиц резины образуется резинобитумная матрица, представляющая собой трехфазную систему из резины, смеси резины и битума, а также битума [10] (рис. 3).

Система включает в себя крупные агрегаты, известные как центры эластичности, которые оказывают незначительное влияние на упругость и эластичность вяжущего. Научные исследования показывают, что основное воздействие резиновой крошки проявляется в повышении вязкости и улучшении термической чувствительности.

Обширный анализ экспериментальных данных, приведенных в работах [5, 6, 8], позволяет утверждать, что частично набухшая дисперсия не формирует однородную эластичную структурную сетку в объеме вяжущего. Это объясняется тем, что вулканизированный каучук не распределен в виде макромолекул между мицеллами битума, а представлен в виде крупных агрегатов или «центров эластичности», которые оказывают незначительное действие на упругость и эластичность вяжущего. Для более полного проявления свойств резины необходимо провести деструкцию ее структуры, то есть разорвать вулканизирующие связи и преобразовать исходный каучук в развернутые, несвязанные друг с другом макромолекулы. После этого, осуществив распределение каучука на молекулярном уровне в среде вяжущего, произвести повторную вулканизацию для его связывания.

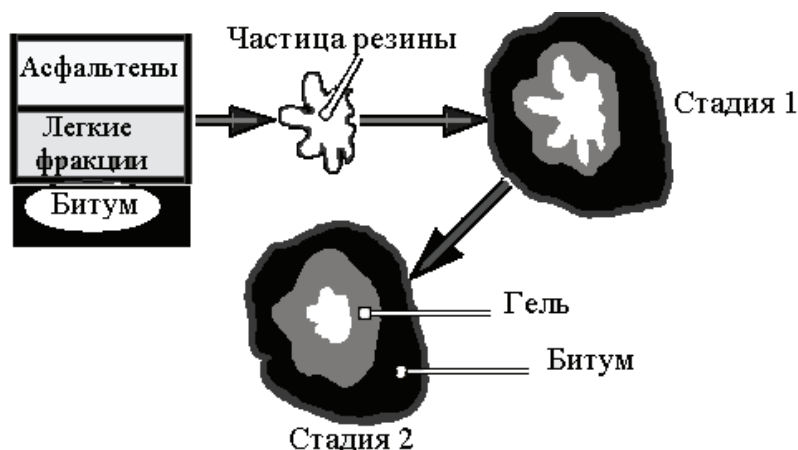


Рисунок 3 – Стадии реакции частиц резины и битума.

После проведения деструкции структуры резины и преобразования ее в развернутые макромолекулы, несвязанные друг с другом, осуществляется распределение каучука на молекулярном уровне в вяжущем веществе. Этот этап играет ключевую роль в достижении более полного проявления свойств девулканизированной резины в асфальтобетонных смесях.

Полученные отдельные макромолекулы каучука, равномерно распределенные в органическом вяжущем, обеспечивают более высокую степень взаимодействия с другими компонентами смеси. Это способствует формированию более однородной эластичной структуры, что приводит к улучшению упругости и эластичности нефтяного дорожного битума.

Далее, после распределения каучука на молекулярном уровне, проводится процесс повторной вулканизации. Этот этап представляет собой своеобразное «сшивание» развернутых молекул, обеспечивая вновь формирующимся структурам резиновых частиц нужные эластичные свойства. Таким образом, достигается более эффективное включение резины в асфальтобетонную матрицу, что способствует улучшению общих характеристик асфальтобетонных смесей.

Исследования, выполненные в работах [5, 6, 8], подтверждают, что данный подход к модификации вяжущего с использованием девулканизированной резиновой крошкой позволяет значительно повысить эффективность и функциональность асфальтобетонных материалов. Полученные результаты указывают на потенциал данной технологии в улучшении механических, термических и деформационных свойств дорожных покрытий, что является важным аспектом в сфере строительства и эксплуатации транспортной инфраструктуры.

ВЫВОДЫ

Применение комплексно-модифицированных дорожных асфальтобетонов с вторичным каучуком «УНИРЕМ» предоставляет значительные перспективы для повышения долговечности асфальтобетонных покрытий. Инновационные материалы, модифицированные «УНИРЕМ», проявляют повышенную устойчивость к воздействию влаги, повышенную стойкость к сдвиговым нагрузкам, устойчивость к образованию трещин и колееобразованию, а также высокую устойчивость к циклическим деформациям при разнообразных температурных режимах. Применение этого модификатора позволяет получить асфальтобетон с нормативными механическими и эксплуатационными характеристиками, что способствует увеличению срока службы дорожных покрытий и снижению затрат на их обслуживание. Такие инновации открывают перспективы для улучшения общего качества дорожной сети, а также снижения затрат на ее поддержание и ремонт в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокопец, В. С. Модификация дорожного асфальтобетона резиновыми порошками механоактивационного способа получения : монография / В. С. Прокопец, Т. Л. Иванова. – Омск : СибАДИ, 2012. – 116 с. – Текст : непосредственный.
2. Никольский, В. Г. Современные технологии переработки изношенных автопокрышек и других резинотехнических отходов / В. Г. Никольский. – Текст : непосредственный // Вторичные ресурсы. – 2002. – № 1. – С. 48.

3. Зверева, У. Г. Резинобитумные вяжущие на основе активного порошка шинной резины: получение, структура, свойства / У. Г. Зверева, В. Г. Никольский, И. В. Гордеева. – Текст : непосредственный // Химия, физика, биология: пути интеграции : тезисы докладов научной молодежной конференции, Звенигород, 21–24 мая 2015 г. : в 3 частях : часть 2. – Звенигород : ООО «ТОРУС ПРЕСС». – 2015. – С. 31–32.
4. Яганин, А. А. Повышение долговечности асфальтобетонов с применением модификатора «Унирем» / А. А. Яганин, Н. А. Гриневиц. – Текст : непосредственный // УГЛТУ. – 2010. – Екатеринбург. – С. 370–372.
5. Печеный, Б. Г. Влияние режимов приготовления асфальтобетонных смесей на свойства асфальтобетонов / Б. Г. Печеный, Е. А. Данильян, В. Д. Галдина. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2009. – Выпуск 11. – С. 36–39.
6. Топилин, В. М. Использование изношенных шин и продуктов их переработки в народном хозяйстве / В. М. Топилин, В. Д. Карминский. – Ростов-на-Дону : Издательство «Юг», 2001. – 134 с. – Текст : непосредственный.
7. Соловьев, Е. М. Получение резиновых порошков при положительных температурах и их влияние на основные свойства резин / Е. М. Соловьев, В. Б. Павлов, Н. С. Ениколопов. – Текст : непосредственный // Каучук и резина. – 1987. – № 4. – С. 6–9.
8. Экономическая эффективность переработки автомобильной резины / М. М. Макаров, Ю. В. Родионов, С. Б. Кокунова [и др.]. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2010. – № 4(31). – С. 48–53.
9. Интегральная технология переработки изношенных автопокрышек с получением активного порошка / В. Г. Никольский, С. А. Вольфсон, Т. В. Дударева [и др.]. – Текст : непосредственный // Наука-производству. – 2002. – № 3(53). – С. 13–21.
10. Ползучесть и восстановление резинобитумных материалов в условиях многократных деформаций / У. Г. Зверева, В. Г. Никольский, И. А. Красоткина [и др.]. – Текст : непосредственный // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов : сборник материалов VI Международной конференции, Москва, 2015. – Москва : ИМЕТ РАН, 2015. – С. 708.
11. Доля, А. Г. Щебеночно-мастичные асфальтобетоны, модифицированные резиновым термоэластопластом / А. Г. Доля, А. А. Стукалов, Д. Э. Жердев. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – Выпуск 2020-1(141) Современные строительные материалы. – С. 156–161. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/2020-1\(141\)/st_23_dolya_stukalov_zherdev.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/2020-1(141)/st_23_dolya_stukalov_zherdev.pdf) (дата публикации: 17.02.2020).

Получена 08.01.2024

Принята 26.01.2024

ELINA RADYUKOVA

PROSPECTS OF APPLICATION OF SECONDARY RUBBER OF «UNIREM»
MARK FOR COMPLEX MODIFICATION OF ASPHALT CONCRETE
STRUCTURE

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian Federation, Donetsk People's Republic, Makeevka

Abstract. The article is devoted to the research of complex modification of road asphalt concretes by secondary rubber «UNIREM» in order to increase their durability in conditions of intensive road traffic and extreme climatic influences. Prospects for the use of modified asphalt concretes include: revision of construction standards to take into account innovative compositions; increased efficiency of resource utilization as a result of waste reduction, economic benefits through reduced costs for regular maintenance work, and the possibility of integrating these materials into modern construction practices. The development of quality standards for complex-modified asphalt concretes using recycled rubber «UNIREM» presents a prospect for their wide implementation in infrastructure projects, thus contributing to the sustainable development of the road-transportation network. The use of this modifier makes it possible to obtain asphalt concrete with standard mechanical and operational characteristics, which helps to increase the service life of road surfaces and reduce maintenance costs.

Keywords: petroleum road bitumen, crumb rubber, asphalt concrete, polymer modifier «UNIREM».

Радюкова Элина Львовна – автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Radyukova Elina – master's student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.