

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.14.85.006

УДК 658.567.1

© Л. А. Николаева, В. А. Марьев, 2025

Л. А. НИКОЛАЕВА

д-р техн. наук, профессор,
заведующая кафедрой
КГЭУ, г. Казань
e-mail: larisanic16@mail.ru



В. А. МАРЬЕВ

начальника управления
ФАУ «РОСДОРНИИ»
г. Казань
e-mail: vmaryev@yandex.ru



УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНОГО РЕЗИНОВОГО СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМНОЙ КОМПОЗИЦИИ

В настоящее время наблюдается резкий рост промышленного производства. С 1 января 2022 г. Правительством Российской Федерации реализуется Федеральный проект «Экономика замкнутого цикла», который призван сыграть важнейшую роль как в части снижения негативного воздействия на окружающую среду, так и в достижении целей ресурсосбережения в ходе реализации инфраструктурных проектов. В этом случае создание экотехнопарков как элементов управления отходами должны достичь полного использования вторичных ресурсов. Следует отметить, что главной задачей экотехнопарков должен стать выпуск продукции и оказание услуг с использованием вторичных ресурсов. В качестве примера такой продукции в статье рассматривается резинобитумная композиция (РБК) и модификаторы битума, созданные на основе резиновой крошки ПАО «Нижнекамскшина». Разработка таких экологически безопасных технологий и материалов, процессов их производства, повышение качества получаемой продукции из промышленных отходов является актуально-значимой задачей.

Ключевые слова: ЭКОТЕХНОПАРК, ПРОМЫШЛЕННЫЙ СИМБИОЗ, УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ, ВТОРИЧНЫЕ РЕСУРСЫ, РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ, ВТОРИЧНОЕ РЕЗИНОВОЕ СЫРЬЁ.

Экотехнопарк представляет собой комплекс объектов, объединенных материальными и энергетическими потоками, включающего здания и сооружения, технологическое оборудование, используемые преимущественно в деятельности по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов, обеспечивающий их переработку (в том числе в виде вторичных ресурсов), производство на их

основе промышленной продукции и оказание услуг [1].

В ранних работах [2] было представлено базовое отличие экотехнопарков от других объектов обращения с отходами и вторичными ресурсами. Сущность заключается в наличии эффективного обмена материальными, энергетическими и информационными потоками с целью достижения экономической эффективности

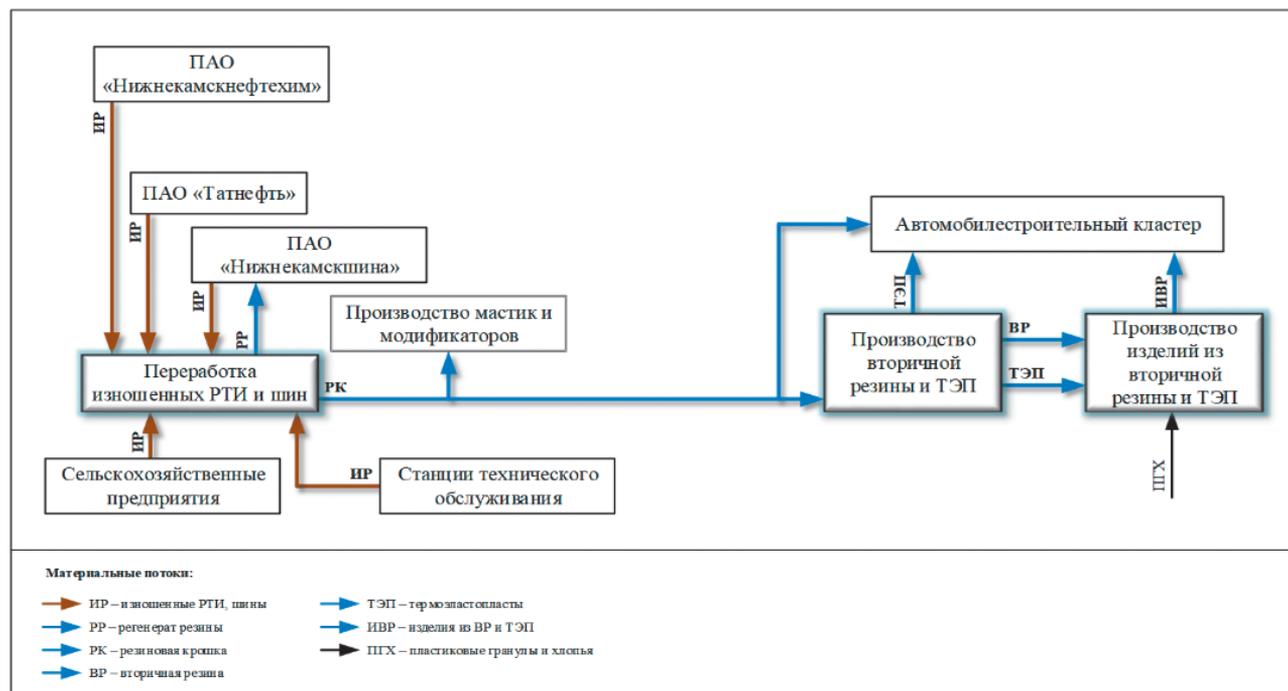


Рис. 1. Блок-схема утилизации резиновой крошки в составе экотехнопарка Нижнекамского промышленного узла

с одновременным снижением негативного воздействия на окружающую среду.

В качестве примера комплексного подхода к утилизации отходов производства рассмотрен вопрос сбора и утилизации изношенных шин и отходов резинотехнических изделий (РТИ), которые образуются на предприятиях, входящих в Нижнекамский промышленный узел [3]. Предложено создание комплекса предприятий от переработки до выпуска готовой продукции на основе резиновой крошки. Предложено рассмотреть в составе экотехнопарка предприятие по производству резинобитумных мастик и резинобитумных вяжущих мощностью до 6 тысяч тонн в год. Блок-схема утилизации резиновой крошки в составе экотехнопарка Нижнекамского промышленного узла представлена на рис. 1.

Основным направлением, способным вовлечь в хозяйственный оборот резиновую крошку как продукт утилизации изношенных шин в значительном количестве, является её применение в дорожно-мостовом строительстве в составе резинобитумных мастик и вяжущих для резиноасфальтобетонов [4].

Представлены результаты исследований использования резиновой крошки как

продукта утилизации изношенных шин и отходов РТИ предприятий (ПАО «Нижнекамскнефтехим», ПАО «Татнефть», ПАО «Нижнекамскшина») и материалов на ее основе в дорожном строительстве в качестве модификатора битума, основного компонента резинобитумных мастик и модифицирующей добавки в асфальтобетонную смесь. Проведены сравнительные исследования рецептур резинобитумных вяжущих с использованием модификаторов на основе резиновой крошки.

В табл. 1 приведены характеристики образцов резиновой крошки: немодифицированные образцы («Португалия» и «Исходная резиновая крошка для получения модификатора «Унирем»); модификаторы на основе резиновой крошки («Унирем», «Комплексный модификатор асфальтобетона» («КМА»), «Дормикс»).

Для исследований был использован комплексный модификатор асфальтобетона «КМА» производства компании «Колтек». Данный модификатор в дорожном строительстве применяется по «сухому» методу, то есть добавляется в асфальтобетонную смесь в качестве добавки в сухом виде сверх общей массы смеси. Изготовление образцов

Таблица 1

Характеристики образцов резиновой крошки

Наименование показателя	«Португалия»	Исходная резиновая крошка для получения модификатора «Унирем»	«Унирем»	«КМА»	«Дормикс»
Массовая доля воды, %	0,75	следы	0,15	0,6	0,45
Массовая доля золы, %	11,02	5,59	26,8	29,68	37,06
Массовая доля ацетонового экстракта, %	9,22	8,25	13,13	13,78	7,26
Массовая доля остатков кордного волокна, %	0,03	5,66	4,0	8,0	–
Фракционный состав, количество частиц, %, проходящих через сито, мм:					
– 0,16	4,0	6,6	28,0	27,0	19,8
– 1,0	0,1	0,2	0	0,5	2,6

резинобитумной композиции производилось на лабораторной установке (рис. 2). Приготовление композиций битума с модификатором «КМА» осуществлялось в лабораторном смесителе марки Silverson L5M, оснащённом электрообогревом, посредством механического смешения компонентов лопастной мешалкой при температуре 180 °С со скоростью 500 об./мин.



Рис. 2. Лабораторная установка испытания битума и его композиций с «КМА»

Полученные образцы композиций были испытаны по стандартным методикам ГОСТ и ASTM, значения показателей физико-механических свойств исходного битума и его композиций с «КМА» представлены в табл. 2 и на рис. 3–5.

В отличие от исходного битума, композиция битума с модификатором характеризуется достаточно высокой эластичностью (способностью к обратной деформации). Уровень значений этого показателя достигает при 25 и 0 °С отметки 50–51 %, в то время как для битума марки БДУ 70/100 всего 4 и 3 % соответственно при 25 и 0 °С.

Введение в битум модификатора «КМА» в количестве 7, 14 и 20 % масс. приводит к дальнейшему повышению значений таких показателей физико-механических свойств получаемых композиций, как «температура размягчения», «растяжимость при 0 °С» [5].

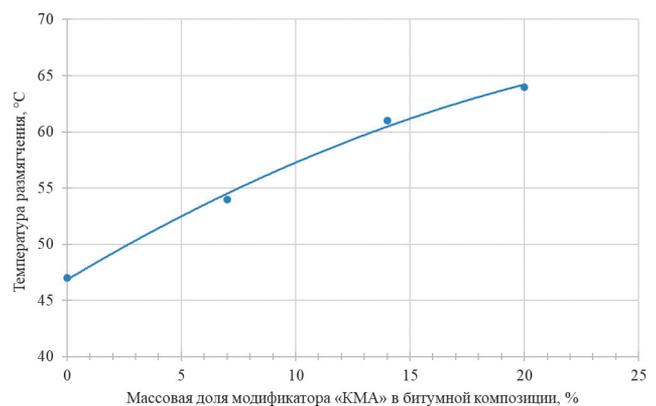


Рис. 3. Температура размягчения битума нефтяного дорожного с улучшенными характеристиками марки БДУ 70/100 и его композиций с модификатором «КМА»

Таблица 2

Результаты испытаний битума нефтяного дорожного с улучшенными характеристиками марки БДУ 70/100 и его композиций с модификатором «КМА»

Наименование показателя	Фактические значения для битума марки БДУ 70/100	Фактические значения для композиций битума марки БДУ 70/100 с модификатором «КМА» при содержании последнего в количестве:		
		7% масс.	14% масс.	20% масс.
Глубина проникания иглы, 0,1мм: — при 25 °С — при 0 °С	82 24	57 28	54 29	52 31
Растяжимость, см: — при 25 °С — при 0 °С	более 140 4,0	20 4,7	21 6,3	22 8,0
Температура размягчения, °С	47	54	61	64
Температура хрупкости, °С	-19	-19	-22	-23
Эластичность*,%: — при 25 °С — при 0 °С	4 3	50 51	72 54	70 58
Изменение температуры размягчения после прогрева по методике ГОСТ 18180	3	3**	3**	2**
Температура вспышки, °С	294	более 300	более 300	более 300
Сцепление с мрамором или песком	выдерживает с мрамором по контрольному образцу № 2	выдерживает с мрамором по контрольному образцу № 2		

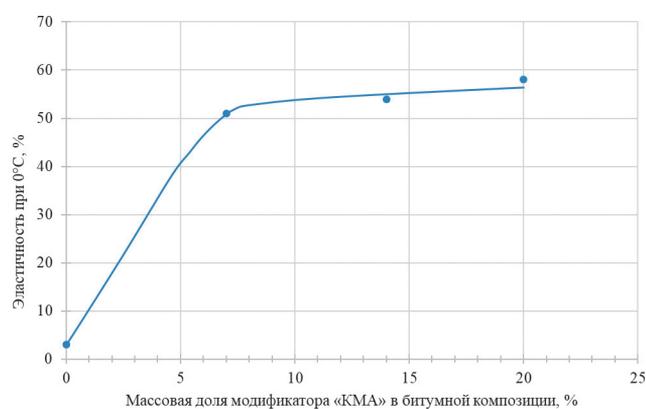
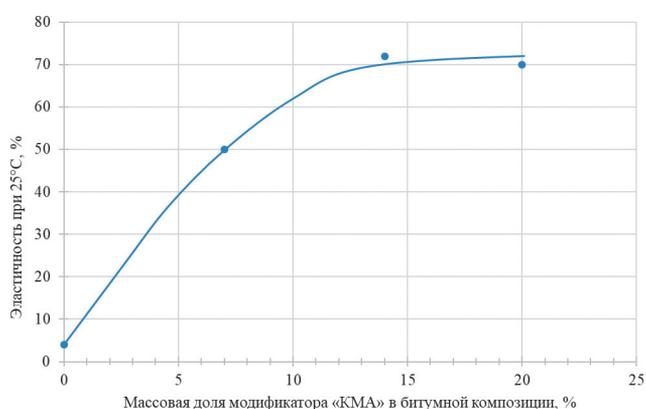


Рис. 4. Эластичность битума нефтяного дорожного с улучшенными характеристиками марки БДУ 70/100 и его композиций с модификатором «КМА» при 25 °С

В ходе исследований определено, что модификатор «КМА» распределяется в массе битума в виде дисперсной фазы, фактически являясь наполнителем в битуме. В отличие от полимеров в составе битумного вяжущего, независимо от марки битума в отсутствии перемешивания

композиции битума с модификатором «КМА» наблюдается расслоение (табл. 3).

Различие значений показателя «температура размягчения» массы композиции, находящейся в верхнем и нижнем слоях образца, составляет 14–17 °С.

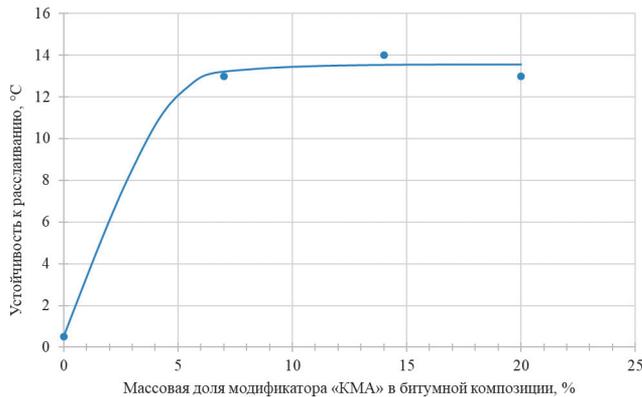


Рис. 5. Устойчивость к расслаиванию битума нефтяного дорожного с улучшенными характеристиками марки БДУ 70/100 и его композиций с модификатором «КМА»

Таким образом, установлено, что дисперсная система композиционного материала, образующаяся при механическом смешении битума с модификатором «КМА», термодинамически неустойчива и расслаивается при повышенной температуре в отсутствие перемешивания. Различие значений показателя температуры размягчения композиционного материала в верхнем и нижнем слоях массы

после термостатирования образца в течение трёх суток без перемешивания составляет от 14 °С до 17 °С. При этом исследования резиноасфальтобетонов с модификатором «КМА», а также многолетнее практическое применение данного модификатора в дорожном строительстве свидетельствует, что модификатор «КМА» наиболее успешно может применяться в дорожном строительстве только в процессе применения «сухого» метода введения модификатора на основе резиновой крошки в асфальтобетонную смесь [6]. Что касается «мокрого» метода применения резиновой крошки в составе асфальтобетона, то он характеризуется приготовлением резинобитумного вяжущего, которое вводится в сухую асфальтобетонную смесь.

При приготовлении резинобитумного вяжущего применяются химические реагенты и различные температурные режимы, что способствует получению высокотехнологичного вяжущего, повышающего качество базовых битумов. То же происходит при приготовлении резинобитумных мастик. Производство мастик на основе резиновой

Таблица 3

Результаты определения физико-механических свойств массы композиций битумов разных марок с 14 % масс. модификатора «КМА», сконцентрировавшейся в верхнем и нижнем слоях образцов композиций после термостатирования в статических условиях

Наименование показателя	Марка битума в композиции	Фактическое значение для массы, находящейся:	
		в верхнем слое	в нижнем слое
Визуальная оценка при 175 °С	БДУ 70/100	гомогенная система	дисперсная высоконаполненная система
	БНД 60/90	гомогенная система	ма с размером частиц «КМА» 1–1,5 мм, равномерно распределённых в массе композиции
	БДУС 70/100	гомогенная система	
Визуальная оценка при комнатной температуре	БДУ 70/100	гомогенная система	
	БНД 60/90	гомогенная система	
	БДУС 70/100	гомогенная система	
Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1мм	БДУ 70/100	53	64
	БНД 60/90	34	51
	БДУС 70/100	38	51
Температура размягчения, °С	БДУ 70/100	58	72
	БНД 60/90	58	75
	БДУС 70/100	58	72
Эластичность* при 25 °С,%	БДУ 70/100	31	76
	БНД 60/90	26	62
	БДУС 70/100	30	74

Примечание: * — Через 10 мин после разрыва образца, растянутого на дуктилометре при 25 °С

крошки для строительства происходит при непосредственном создании композиционных материалов на основе химических реакций битума и резиновой крошки. Именно это стало предметом дальнейших исследований при разработке резинобитумного вяжущего, которое было зарегистрировано под маркой «БРИТ» [7].

Показано, что мастика резинобитумная композиционная марки «БРИТ-И» характеризуется устойчивостью при длительном воздействии повышенной температуры. Различие значений показателя температуры размягчения мастики в верхнем и нижнем слоях массы после термостатирования образца в течение трёх суток без перемешивания не превышает 5 °С. Мастика сохраняет присущую ей однородность, значительного расслоения материала не наблюдается. Установлено, что в мастиках «БРИТ-И» имеет место структурирование битума резиновой крошкой, в отличие от механического смешения битума с модификаторами. Результаты определения физико-механических свойств мастики «БРИТ-И» приведены в табл. 4.

На основе полученных в ходе исследований данных был разработан способ получения

резинобитумной композиции, которая включает в себя резиновую крошку, активный модификатор и вяжущее — битум. В качестве активного модификатора предложено использовать соединение из ряда парабенных кислот, способных регулировать процесс деструкции и сшивки частиц резины в битуме без заметной сегрегации за счёт генерирования химически активных частиц в составе образуемых при распаде активного модификатора изолированных газовых микровключений, при следующем соотношении компонентов: резиновая крошка (5–15 % масс.); ряд парабенных кислот и их производные (1–2 % масс.); битум (остальное) [8]. Технологическая схема производства РБК представлена на рис. 6.

Получение резинобитумной композиции осуществляется следующим образом: сначала битум, предварительно прогретый при температуре 190–205 °С, перекачивают из битумной ёмкости (6) в обогреваемый реактор (7). При заданной скорости перемешивания, например 20 об./мин, постепенно засыпают резиновую крошку (чёрную) из бункера-накопителя для резиновой крошки (1), затем мешалкой перемешивают и добиваются равномерного

Таблица 4

Физико-механические свойства резинобитумного вяжущего на основе мастики «БРИТ-И», использованной для приготовления литого асфальта

Наименование показателя	Получение РБК «БРИТ-И» с применением коллоидной мельницы	Норма по ГОСТ Р 52056–2003 (ПБВ)-60
Глубина проникания иглы, 0,1 мм:		
— при 25 °С	71	60
— при 0 °С	32	32
КИШ, °С	57	51
Растяжимость, см:		
— при 25 °С	29	25
— при 0 °С	12	11
Температура хрупкости по Фраасу, °С	-22	-20
Эластичность при разрыве, %:		
— при 25 °С	91	80
— при 0 °С	73	70
Термостабильность при хранении, °С	0,1	2
Однородность	Однородная	Однородно

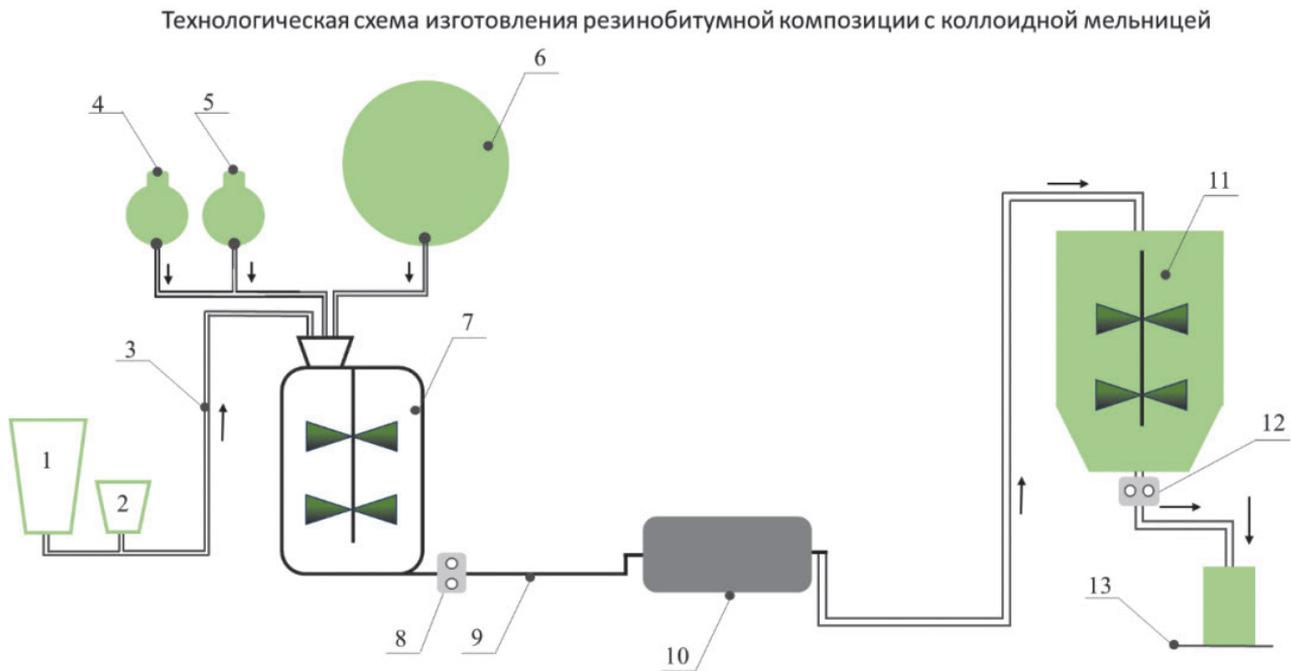


Рис. 6. Технологическая схема производства резинобитумной композиции
 1 — бункер-накопитель для резиновой крошки шинной; 2 — бункер-накопитель для резиновой крошки серой; 3 — линия загрузки резиновой крошки в смеситель; 4 — ёмкость для химического реагента 1; 5 — ёмкость для химического реагента 2; 6 — битумная ёмкость; 7 — обогреваемый смеситель с высокоскоростной мешалкой; 8 — шестерёнчатый насос; 9 — обогреваемая линия транспортировки резинобитумной композиции; 10 — коллоидная мельница; 11 — накопительная ёмкость с низкоскоростной лопастной мешалкой; 12 — шестерёнчатый насос; 13 — узел разлива готовой резинобитумной композиции.

распределения резиновой крошки по объёму. После этого дают выдержку по времени для набухания и деструкции резиновой крошки. После чего постепенно добавляют резиновую крошку (серую) из бункера-накопителя для резиновой крошки (2), также постепенно перемешивают до равномерного распределения её по объёму и дают выдержку по времени. После этого из ёмкости (4) добавляют активный модификатор в количестве $2/3$ от его общей массы, равномерно распределяют её по объёму вяжущего и выдерживают до окончания газовой выделения. После окончания газовой выделения добавляют остальное количество активного модификатора, то есть $1/3$ оставшейся массы из ёмкости (5), равномерно распределяют по объёму вяжущего, также выдерживают до окончания процесса газовой выделения. Технологический процесс изготовления битумно-резиновой композиции

заканчивается после отделения прореагировавшей газовой фазы. Готовый материал с помощью шестерёнчатого насоса (8) по обогреваемому битумопроводу (9) перекачивают через коллоидную мельницу (10), которая обеспечивает однородную структуру РБК, далее — в накопительную ёмкость с низкоскоростной лопастной мешалкой (11) и разливают после понижения температуры полученной композиции на $20\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в тару через узел разлива (13). Готовый материал не содержит открытых пор и существенных по размерам газовых включений. Мастика имеет однородную, без посторонних включений консистенцию и не имеет частиц резиновой крошки, не покрытых битумом.

Рассчитан смеситель с высокоскоростной мешалкой производительностью 2 т/сут, подобраны марки основного и вспомогательного оборудования.

ВЫВОДЫ

1. Проведённые исследования показали, что использование продукта утилизации отходов РТИ — резиновой крошки — при приготовлении дорожно-мостовых мастик и вяжущих придаёт материалу свойства модификатора битумов исключительно по «мокрому» методу. При этом повышаются вязкость, эластичность, снижается хрупкость битума.

2. Разработан научно-методический подход создания экотехнопарков на примере Нижнекамского промышленного района Республики Татарстан, который позволяет определить основы планирования экотехнопарков, определить основные заинтересованные стороны при создании экотехнопарков и выделить их функции, определить вопросы регулирования и подходы к стимулированию их развития.

3. Разработана технология производства резинобитумной композиции, которая включает в себя резиновую крошку, активный модификатор и вяжущее — битум. В качестве активного модификатора используется соединение из ряда парабенных кислот,

способных регулировать процесс деструкции и сшивки частиц резины в битуме без заметной сегрегации за счёт генерирования химически активных частиц в составе образуемых при распаде активного модификатора изолированных газовых микровключений, при следующем соотношении компонентов: резиновая крошка (5–15 % масс.); ряд парабенных кислот и их производные (1–2 % масс.); битум (остальное).

4. Произведен расчет экономического и экологического эффекта от внедрения предложенной технологии получения РБК, который включает резиновую крошку, активный модификатор и вяжущий битум. Средняя стоимость производства РБК с использованием различных модификаторов составила 38788 руб. за т. Экономическая оценка предотвращенного экологического вреда рассчитывалась по методике исчисления размера вреда, причиненного как объекту охраны окружающей среды (Приказ 237 от 11.07.2018), и составила 5 072 338 000 руб. для ПАО «Нижнекамшина» с учетом массы отходов с одинаковым классом опасности 183600 т. и занимаемой площадью 15,1 га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воротников А. М., Баженов И. Н., Лыжин Д. Н. Экотехнопарки: перспективы развития, приоритетные области внедрения и особенности финансирования // Проблемы национальной стратегии. 2019. № 4. С. 144–155.
2. Скобелев Д. О., Марьев В. А., Потапов Г. Г., Шубов Л. Я., Доронкина И. Г. Создание экотехнопарков — рациональный путь к развитию отрасли комплексной переработки отходов и использования вторичных ресурсов // Экология промышленного производства. 2018. № 2. С. 7–21.
3. Тихонова И. О., Данилова Е. М., Марьев В. А., Аверочкин Е. М. Оценка перспектив формирования экотехнопарка в Нижнекамском промышленном узле // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 45–51.
4. Марьев В. А., Шушпанова Д. В. Использование резинобитумной композиции из вторичного резиносодержащего сырья в дорожном хозяйстве // Успехи в химии и химической технологии. Сб. науч. тр. 2024. С. 71–74
5. Гончаров В. М., Юдина Э. Г., Гончарова Л. А. Основы технологии переработки полимеров. Структура и свойства резин. Технологические и технические свойства резин. Красноярск.: СибГТУ, 2000. 215 с.
6. Марьев В. А., Шушпанова Д. В. Использование резинобитумной композиции из вторичного резиносодержащего сырья в дорожном хозяйстве // Успехи в химии и химической технологии. 2024. С. 71–74.

7. Иванов С. А., Шабает С. Н., Тюрюханов К. Ю. Утилизация резиновой крошки путем производства модифицированного битума // Инженерный вестник Дона. 2022. № 9.

8. Патент 2223990 Российская Федерация, МПК С 08 L 95/00, С 08 L 17/00, С 08 К 5/3445. Битумно-резиновая композиция и способ ее получения / Марьев В. А., Немцев В. А., Чернов О. Н., Руденский А. В.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «РИНТЕК» — № 2002102189/04; заявл. 29.01.2002; опубл. 20.02.2004. Бюл. № 5. .

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.14.85.006

UDC 658.567.1

© L. A. Nikolaeva, V. A. Maryev, 2025

L. A. NIKOLAEVA

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department
KGEU, Kazan
e-mail: larisnik16@mail.ru

V. A. MARYEV

Head of the Department
FAI «ROSDORNII», Kazan
e-mail: vmaryev@yandex.ru

RECYCLING OF RECYCLED RUBBER RAW MATERIALS IN BITUMEN COMPOSITION PRODUCTION TECHNOLOGY

Currently, there is a sharp increase in industrial production. From January 1, 2022 The Government of the Russian Federation is implementing the Federal project «Closed-loop Economy», which is designed to play a crucial role both in reducing the negative impact on the environment and in achieving resource conservation goals during the implementation of infrastructure projects. In this case, the creation of ecotechnoparks as waste management elements should achieve full utilization of secondary resources. It should be noted that the main task of ecotechnoparks should be the production and provision of services using secondary resources. As an example of such products, the article considers the rubber bitumen composition (RBC) and bitumen modifiers created on the basis of the rubber chips of PJSC Nizhnekamskshina. The development of such environmentally friendly technologies and materials, their production processes, and improving the quality of products obtained from industrial waste is an urgent task.

Keywords: ECOTECHNOPARK, INDUSTRIAL SYMBIOSIS, WASTE DISPOSAL, SECONDARY RESOURCES, RUBBER PRODUCTS, RECYCLED RUBBER RAW MATERIALS.

REFERENCES

1. Vorotnikov A. M., Bazhenov I. N., Lyzhin D. N. Ecotechnoparks: development prospects, priority areas of implementation and financing features // Problems of the national strategy [Problemy natsionalnoy strategii]. 2019. No. 4. P. 144–155. [In Russ.].
2. Skobelev D. O., Maryev V. A., Potapov G. G., Shubov L. Ya., Doronkina I. G. The creation of ecotechnoparks is a rational way to develop the industry of integrated waste recycling and the use of secondary resources // Ecology of industrial production [Ekologiya promyshlennogo proizvodstva]. 2018. No. 2. P. 7–21. [In Russ.].

3. Tikhonova I. O., Danilova E. M., Maryev V. A., Averochkin E. M. Evaluation of the prospects for the formation of an ecotechnopark in the Nizhnekamsk industrial hub // Theoretical and Applied Ecology [Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya]. 2022. No. 4. P. 45–51. [In Russ.].

4. Maryev V. A., Shushpanova D. V. The use of a rubber-bitumen composition from recycled rubber-containing raw materials in the road industry // Successes in chemistry and chemical technology. Collection of scientific papers [Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. Sb. nauch. tr.]. 2024. P. 71–74. [In Russ.].

5. Goncharov V. M., Yudina E. G., Goncharova L. A. Fundamentals of polymer processing technology. The structure and properties of rubbers. Technological and technical properties of rubbers. Krasnoyarsk: SibSTU, 2000. 215 p. [In Russ.].

6. Maryev V. A., Shushpanova D. V. The use of a rubber-bitumen composition from recycled rubber-containing raw materials in the road industry // Successes in chemistry and chemical technology [Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii]. 2024. P. 71–74. [In Russ.].

7. Ivanov S. A., Shabaev S. N., Tyuryukhanov K. Yu. Utilization of rubber chips by production of modified bitumen // Engineering Bulletin of the Don [Inzhenernyj vestnik Dona]. 2022. No. 9. [In Russ.].

8. Patent 2223990 Russian Federation, IPC C08L 95/00, C 08 L 17/00, C 08 K 5/3445. Bitumen-rubber composition and method of its preparation / Maryev V. A., Nemtsev V. A., Chernov O. N., Rudensky A. V.; applicant and patent holder Limited Liability Company «RINTEK» — No. 2002102189/04; application. 29.01.2002; publ. 20.02.2004. Bul. No. 5. [In Russ.].