УДК 658.567.1
DOI: 10.17277/voprosy.2025.01.pp.061-071

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО РЕЗИНОВОГО СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ ЭКОТЕХНОПАРКА В НИЖНЕКАМСКОМ ПРОМЫШЛЕННОМ УЗЛЕ

Л. А. Николаева, В. А. Марьев, Д. В. Шушпанова

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия; ФАУ «Российский дорожный научно-исследовательский институт», Москва, Россия; ФГАУ «Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», Москва, Россия

Ключевые слова: вторичное резиновое сырье; вторичные ресурсы; промышленный симбиоз; резинотехнические изделия; утилизация отходов; экотехнопарк.

Аннотация: В целях обмена материальными ресурсами и разработки новых продуктов из вторичных материалов, полученных из отходов предприятий Нижнекамского промышленного узла Республики Татарстан, предложена перспективная схема экотехнопарка, в рамках которого планируется формирование мощностей по утилизации отходов резинотехнических изделий и изношенных шин для получения резиновой крошки и резинобитумных мастик, используемых в качестве сырья для производства дорожно-строительных материалов. Проведена оценка физико-механических свойств резинобитумной мастики, полученной из смеси битума и резиносодержащего модификатора. Установлено, что при производстве мастик необходимо постоянное перемешивание для получения гомогенной, пластичной и растяжимой при пониженных температурах субстанции. По результатам исследования определены соотношения компонентов получения резинобитумной мастики. Проведен расчет инвестиционных затрат производства и предполагаемого экологического вреда почвам в случае отказа от захоронения отходов резинотехнических изделий и организации производства резинобитумных мастик из вторичного сырья (резиновой крошки) на примере конкретного предприятия, расположенного в Нижнекамском промышленном узле.

Николаева Лариса Андреевна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной экологии и безопасности труда, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия; Марьев Владимир Александрович – заместитель начальника управления перспективных технологий и стандартизации, ФАУ «Российский дорожный научно-исследовательский институт», Москва, Россия; Шушпанова Джемма Викторовна – научный сотрудник отдела методологии ресурсосбережения, e-mail: d.shushpanova@eipc.center, ФГАУ «Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», Москва, Россия.

Введение

Реализация Федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» в качестве приоритетной задачи предусматривает формирование к 2030 г. системного подхода к комплексной утилизации отходов производства и потребления (далее – отходов) в части снижения негативного воздействия на окружающую среду и достижения целей ресурсосбережения [1]. Одним из вариантов решения проблемы утилизации отходов предполагается формирование на территории России экотехнопарков, как территорий глубокой переработки отходов и использования вторичных ресурсов (**ВР**) для производства товарной продукции. Постановлениями Правительства РФ от 4 июля 2022 г. № 1202 и от 7 июля 2022 г. № 1216 введены понятия «экопромышленный парк» и «экотехнопарк».

Цель работы – оценка возможности создания экотехнопарка на примере Нижнекамского промышленного узла, расположенного в Республике Татарстан, на территории которого будет организован процесс переработки изношенных шин с получением резиновой крошки для производства высокотехнологичной резинобитумной композиции, применяемой в дорожно-мостовом строительстве в качестве модификатора битума и составной части резиноасфальтобетонов.

Формирование экотехнопарка и производственных мощностей по утилизации резинотехнических изделий на примере Нижнекамского промышленного узла

Организация экотехнопарков требует нестандартных решений и учета региональных особенностей. Наиболее значимые элементы в алгоритме создания экотехнопарка представляют собой формирование промышленного симбиоза между компаниями – потенциальными резидентами экотехнопарка, характеризующегося установлением технологических связей между производственными объектами посредством обмена/взаимообмена ресурсами, а также снижение негативного воздействия на окружающую среду, в том числе за счет уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов сточных вод в водные объекты, минимизации углеродного следа, получения из отходов ВР [2, 3].

На основе функционирующих в Нижнекамском промышленном узле предприятий предложена перспективная схема экотехнопарка, основные элементы которого приведены на рис. 1. Материальные потоки представлены в виде отходов производства шин, резинотехнических изделий (**РТИ**), изношенных шин; отработанных и некондиционных масел, смазочных материалов; вторичного пластика; древесных отходов; отходов стекла и стеклобоя; макулатуры и др.

Функционирование экотехнопарка в Нижнекамском промышленном узле помимо снижения негативного воздействия на окружающую среду будет способствовать обмену ресурсами, и разработке новых продуктов из ВР и услуг для использования на территории экотехнопарка и за его пределами [4].

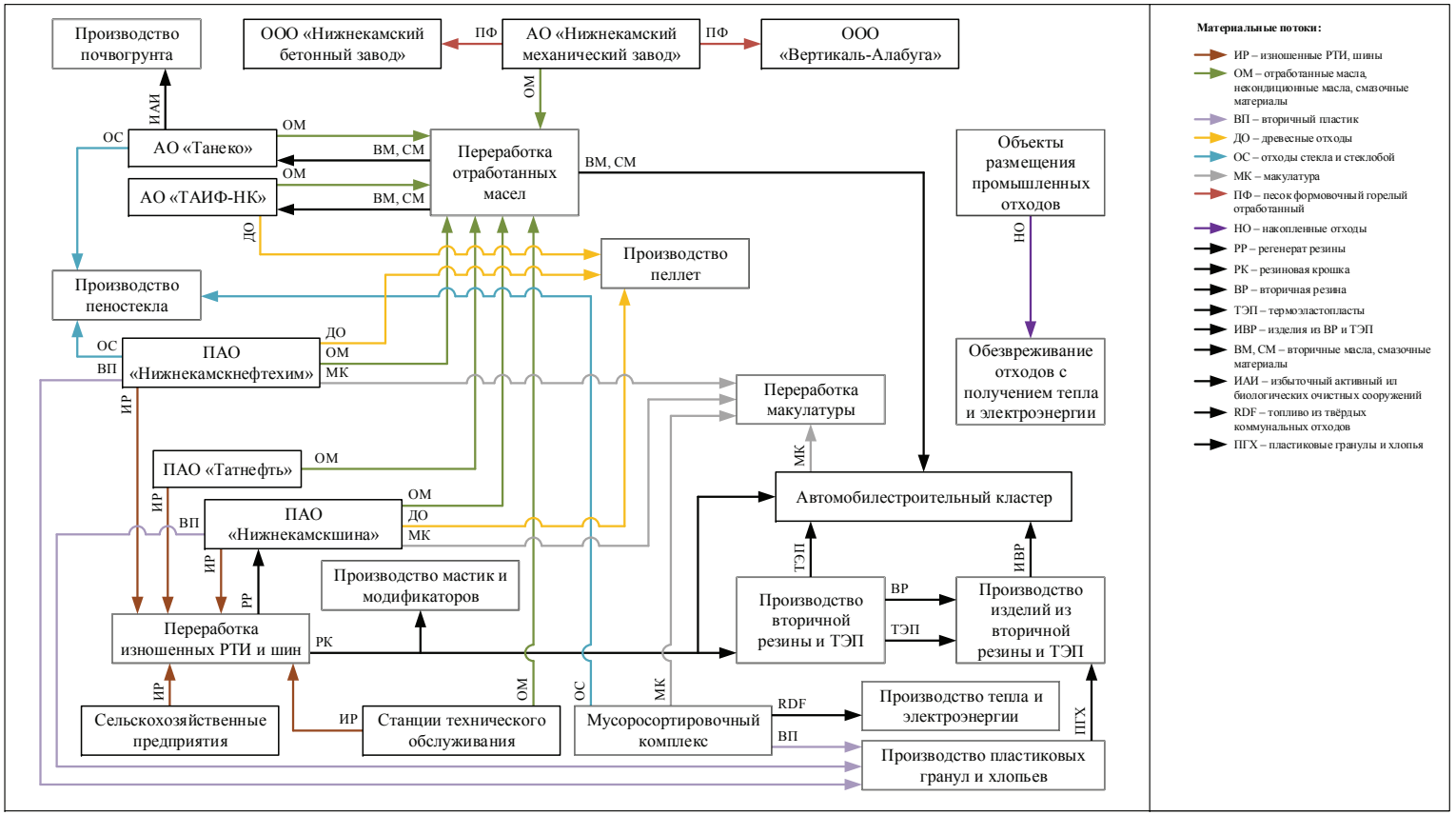

Рис. 1. Блок-схема экотехнопарка Нижнекамского промышленного узла

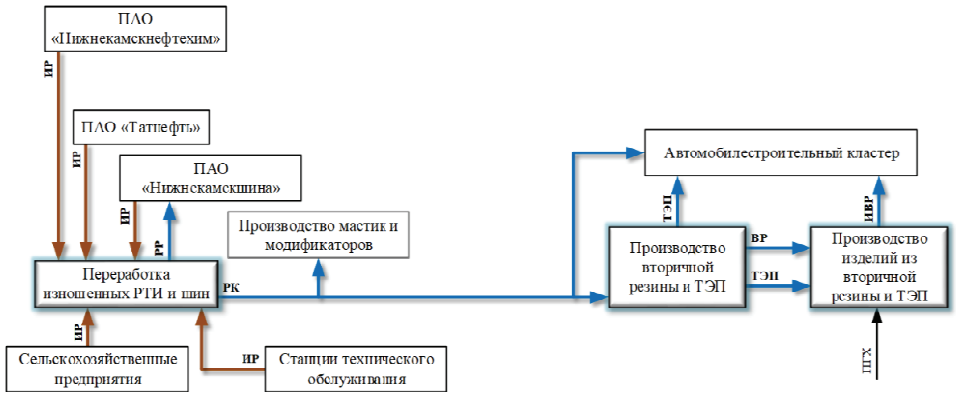

Рис. 2. Блок-схема утилизации РТИ в составе экотехнопарка Нижнекамского промышленного узла:
ИР – изношенные РТИ, шины; РР – регенерат резины; РК – резиновая крошка; ВР – вторичная резина; ТЭП – термоэластопласты; ИВР – изделия из ВР и ТЭП; ПГХ – пластиковые гранулы и хлопья

Формирование в экотехнопарке производственных мощностей по утилизации резинотехнических изделий и изношенных шин с целью получения резиновой крошки как сырья для производства дорожно-строительных материалов может стать одним из примеров экономики замкнутого цикла (рис. 2).

Практика использования резиновой крошки в битумных вяжущих и асфальтобетонных смесях демонстрирует повышение срока службы дорожных асфальтобетонных покрытий, улучшение сцепления с шинами, рост эксплуатационных характеристик резинобитумных мастик и снижение шума на автодорогах [5, 6].

В составе экотехнопарка предлагается организовать производство резиновой крошки размером 0,63…5 мм из изношенных шин и отходов РТИ предприятий ПАО «Нижнекамскнефтехим», ПАО «Татнефть», ПАО «Нижнекамскшина» из резинобитумных мастик и вяжущих в объеме мощностью до 10 тыс. т и до 6 тыс. т в год соответственно.

Основной образователь отходов РТИ – ПАО «Нижнекамскшина», образующий, по статистике 2-ТП (Отходы), до 3 000 т отходов РТИ в год. В процессе утилизации РТИ образуется резиновая крошка, соответствующая техническим требованиям СТО 2511-001-58146599–2004 «Крошка резиновая» и являющаяся основным компонентом модификаторов для резиноасфальтобетонов и битумных вяжущих. Примером модификаторов является «КМА» производства компании «Колтек», имеющий успешный опыт в дорожном строительстве в России с 2008 г. (*далее* – КМА) [7].

Методология

Проведено исследование возможности использования КМА и битума марки БДУ 70/100 для приготовления модифицированного битумного вяжущего и применения вторичного резинового сырья в дорожном строительстве с дальнейшим исследованием его свойств и характеристик. Для исследования использована КМА с массовой долей 7, 14, 20 %.

Приготовление композиций битума с КМА осуществлялось в лабораторном смесителе с электрообогревом при температуре 180 °С и скоростью перемешивания 500 об./мин. Полученные образцы композиций испытаны по стандартным методикам ГОСТ, ASTM и EN без перемешивания, в том числе на размягчение, растяжимость и устойчивость к расслаиванию.

Для эколого-экономической оценки образования в экотехнопарке производственных мощностей по утилизации РТИ и изношенных шин в целях получения резиновой крошки и резинобитумных композиций проведен расчет инвестиционных затрат и предполагаемого экологического вреда почвам.

Результаты и обсуждение

В качестве образца использовался битум нефтяной дорожный с улучшенными характеристиками марки БДУ 70/100. Результаты испытаний БДУ 70/100 и композиции КМА показали, что композиция битума с КМА характеризуется более высокой эластичностью (50 – 51 % при 25 и 0 °С) в сравнении с исходным битумом (4 и 3 % соответственно) (табл. 1, рис. 3). Введение КМА в битум приводит к повышению таких показателей, как температура размягчения и растяжимость при 0 °С.

По результатам исследования физико-химических свойств массы композиции битума марки БДУ 70/100 с 14 масс. %. КМА при отсутствии перемешивания в течение длительного времени (72 ч) выявлено, что дисперсная система композиционного материала, образующаяся при механическом смешении битума с КМА, термодинамически неустойчива

Таблица 1

Фактические показатели битума нефтяного дорожного с улучшенными характеристиками марки БДУ 70/100 и его композиций с модификатором КМА

Температура	Битум марки БДУ 70/100	Композиции битума марки БДУ 70/100 с КМА при содержании последнего в количестве, масс. %		
		7	14	20
Глубина проникания иглы, 0,1 мм				
25 °С	82,0	57,0	54,0	52,0
0 °С	24,0	28,0	29,0	31,0
Растяжимость, см				
25 °С	>140,0	20,0	21,0	22,0
0 °С	4,0	4,7	6,3	8,0
Эластичность, %				
25 °С	4,0	50,0	72,0	70,0
0 °С	3,0	51,0	54,0	58,0

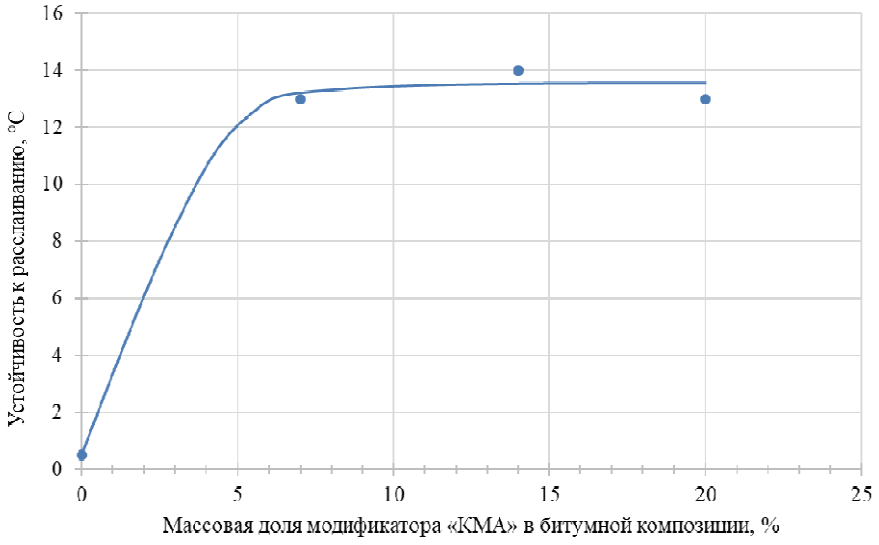

Рис. 3. Устойчивость к расслаиванию битума нефтяного дорожного с улучшенными характеристиками марки БДУ 70/100 и его композиций с модификатором «КМА»

и расслаивается при повышенной температуре (табл. 2). Разница температуры размягчения в верхнем и нижнем слоях образца составила 14…17 °С. Это связано с выпадением резиновой крошки на дно битумной емкости, что является критическим для модифицированного вяжущего, которое должно иметь гомогенную консистенцию во всей массе.

Для получения стабильного резинобитумного вяжущего недостаточно механического смешивания резиновой крошки и битума, так как неподготовленная и неактивная крошка проявит свойства сорбента, что приведет к разрушению асфальтобетонных покрытий. Гомогенные резинобитумные вяжущие и мастики с высокими физико-техническими характеристиками

Таблица 2

Данные физико-механических свойств смеси битума марки БДУ 70/100 с 14 масс. % КМА в верхнем и нижнем слоях образцов композиций после термостатирования в статических условиях в течение 72 ч

Показатель	Верхний слой	Нижний слой
Визуальная оценка при 175 °С	Гомогенная система	Дисперсная высоконаполненная система с размером частиц КМА 1,0…1,5 мм, равномерно распределенных в массе композиции
Визуальная оценка при комнатной температуре		
Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм	53,0	64,0
Температура размягчения, °С	58,0	72,0
Эластичность при 25 °С, %	31,0	76,0

могут быть получены только путем модификации с добавлением химических реагентов. Например, мастики, изготовленные с добавлением мелкодисперсной резиновой крошки (размером до 0,63 мм), отличаются широким интервалом пластичности, высокой растяжимостью при пониженных температурах и улучшенными адгезионными свойствами.

По результатам исследования разработан способ получения резинобитумной композиции в соотношении компонентов: резиновая крошка (5 – 15 % масс.); модификатор (1 – 2 % масс.); битум (остальное), характеризующийся наличием структуры, позволяющей добиваться однородности материала. Зарегистрирована торговая марка «БРИТ» [8, 9]. Свойства резинобитумного вяжущего на основе мастики марки «БРИТ-И» представлены в табл. 3.

Для эколого-экономической оценки образования в экотехнопарке производственных мощностей по утилизации РТИ и изношенных шин с целью получения резиновой крошки и резинобитумных композиций произведен расчет инвестиционных затрат и предполагаемого экологического вреда почвам.

Стоимость основного оборудования для производства резинобитумной композиции рассчитывается как 30 % от общей суммы технического оборудования и составляет 17 311 852,00 р. Себестоимость производства резинобитумной композиции включает в себя затраты на оборудование, приобретение материалов и энергии, и составляет 24 236 592,80 р.

Затраты на приобретение основных материалов для производства 1 т резинобитумной композиции (резиновая крошка из изношенных покрышек (5,6 %) + резиновая крошка из утилизированных противогазов (2 %) +

Таблица 3

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

Температура	Получение РБК «БРИТ-И» с применением коллоидной мельницы	Норма по ГОСТ Р 52056–2003 (ПБВ)-60
Глубина проникания иглы, 0,1 мм		
25 °С	71,0	60,0
0 °С	32,0	32,0
Растяжимость, см		
25 °С	29,0	25,0
0 °С	12,0	11,0
Эластичность при разрыве, %		
25 °С	91,0	80,0
0 °С	73,0	70,0

+ метилпарабен (1 %) + минеральный наполнитель известь пушеная (10 %) + + битум дорожный улучшенный БДУ 70/100 (81,4 %)) составили 39 366,00 р., при этом себестоимость готовой продукции – 45 288,30 р. Годовой объем производства композиции составит 1095 т, сумма амортизации – 4 742,90 р./г.

Расчет потребления энергии при производстве резинобитумной композиции проводился по тарифам Ленинградской области 7,50 р./кВт·ч в связи с тем, что ее исследования проводились на базе Дорожного учебно-исследовательского центра в г. Павловске. Затраты на электроэнергию для производства 1 т готового продукта составят 1179,4 р.

Один из показателей, отражающих негативное воздействие на окружающую среду – показатель экологического вреда, возникающего в результате производственной или хозяйственной деятельности.

В Республике Татарстан у с. Прости в 1992 – 1995 гг. эксплуатировался полигон отходов производства РТИ ПАО «Нижнекамскшина» площадью 16 га. При захоронении в почвах РТИ в процессе разложения обладают чрезвычайно реакционноспособными и токсичными свойствами, а при сжигании 1 т отработанных шин на открытом воздухе образуется до 450 кг газообразных загрязняющих веществ. В 1995 г. проведена рекультивация территории полигона, общая площадь рекультивированных земель составила 15,1 га. Объем захороненных на полигоне шин и РТИ, а также строительных отходов и грунта составляет 459 000 м^3.

Размер экологического вреда почвам может быть исчислен в результате несоблюдения нормативов качества окружающей среды для почв, захламления почв отходами; перекрытия поверхности почв искусственными объектами; повреждения или уничтожения плодородного слоя почвы.

Масса отходов с одинаковым классом опасности (РТИ – 4 класса опасности) на полигоне составила 183 600 т. Такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, в результате порчи почв при их захламлении для отходов 4 класса опасности – 13 000 р./т. Размер экологического вреда за размещение отходов при расчете в соответствии с методикой [10] – 4 916 808 000 р. Общий размер вреда почвам на территории 15,1 га – 5 072 338 000 р.

По результатам расчетов установлено, что при организации в 1990 г. ПАО «Нижнекамскшина» предприятия по утилизации отходов шин и РТИ предотвращенный экологический вред почвам в ценах 2024 г. мог бы составить 5 072 338 000 р. Кроме того, сбыт резиновой крошки (продукта переработки) различных фракций и выпуск продукции с использованием вторичного резинового сырья мог бы стать экономически эффективным для предприятия.

Заключение

Сформирована перспективная схема экотехнопарка Нижнекамского промышленного узла Республики Татарстан. В составе экотехнопарка предложена схема организации глубокой утилизации изношенных шин и резиносодержащих отходов мощностью до 10 тыс. т и выпуска резино-

битумных мастик и дорожных вяжущих объемом 6 тыс. т. Исследования разработанной резинобитумной композиции марки «БРИТ-И» показали ее устойчивость при длительном воздействии повышенной температуры и однородность, что позволяет получать высококачественный материал для дорожного строительства. С целью организации производства резинобитумных композиций рассчитаны инвестиционные затраты и возможный предотвращенный экологический вред, рассчитанный на примере рекультивации полигона отходов производства в районе с. Прости в Нижнекамской промышленной агломерации и составивший 5,072 млрд р.

Список литературы

1. Толстых, Т. О. Перспективы экономики замкнутого цикла в России на этапе глобальных вызовов / Т. О. Толстых, А. А. Гераськина, К. А. Щелчков // Экономика устойчивого развития. – 2024. – № 2(58). – С. 252 – 257.

2. Оценка перспектив формирования экотехнопарка в Нижнекамском промышленном узле / И. О. Тихонова, Е. М. Данилова, В. А. Марьев, Е. М. Аверочкин // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – № 4. – С. 45 – 51. doi: 10.25750/1995-4301-2022-4-045-051

3. Industrial Symbiosis: towards a design process for eco-industrial clusters by integrating Circular Economy and Industrial Ecology perspectives / B. Baldassarre, M. Schepers, N. Bocken, E. Cuppen, G. Korevaar, G. Calabretta // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Vol. 216, No. 3. – P. 446 – 460. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.091

4. Реализация концепции экономики замкнутого цикла: от теории к практике / В. А. Марьев, Т. С. Смирнова, Л. В. Гузь, Ж. А. Манкулова // Менеджмент в России и за рубежом. – 2018. – № 6. – С. 58 – 63.

5. The Use of Waste Tyre Rubber in Stone Mastic Asphalt Mixtures: A Critical Review / M. Zakerzadeh, B. Shahbodagh, J. Ng, N. Khalili //Construction and Building Materials. – 2024. – Vol. 418, No. 3. – P. 135420. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135420

6. Impacts of Waste Rubber Products on the Structure and Properties of Modified Asphalt Binder: Part I – Crumb Rubber / S. Obukhova, A. Budkina, E. Korolev, V. Gladkikh // Materials. – 2024. – Vol. 17, No. 19. – P. 4685. doi: 10.3390/ma17194685

7. Марьев, В. А. Изношенные шины – важный сырьевой ресурс для производства дорожных строительных материалов / В. А. Марьев, И. О. Тихонова // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 30 ноября 2022 г.). – Киров, 2022. – С. 121 – 124.

8. Марьев, В. А. Использование резинобитумной композиции из вторичного резиносодержащего сырья в дорожном хозяйстве / В. А. Марьев, Д. В. Шушпанова // Успехи в химии и химической технологии. – 2024. – Т. 38, № 8(287). – С. 71 – 74.

9. Пат. РФ № 2223990, C2, C 08 L 95/00, C 08 L 17/00, C 08 K 5/3445. Битумно-резиновая композиция и способ ее получения / Марьев В.А., Немцев В.А., Чернов О.Н., Руденский А.В. ; заявитель и патентовладелец ООО «РИНТЕК». – № 2002102189/04 ; заявл. 29.01.2002 ; опубл. 20.02.2004, Бюл. № 5. – 8 с.

10. Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды : приказ Минприроды России от 8 июля 2010 г. № 238 // КонсультантПлюс. – URL : https://enadm.ru/uploads/docs/municipal_control/ground_control/2019/normative legal acts/Normative_acts_F_E/Приказ Минприроды России от 08_07_2010 N 238.pdf (дата обращения: 15.01.2025).

References

1. Tolstykh T.O., Geras'kina A.A., Shchelchkov K.A. [Prospects for a Circular Economy in Russia at the Stage of Global Challenges], *Ekonomika ustoychivogo razvitiya* [Economics of Sustainable Development], 2024, no. 2(58), pp. 252-257. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Tikhonova I.O., Danilova Ye.M., Mar'yev V.A., Averochkin Ye.M. [Assessment of the Prospects for the Formation of an Eco-Technopark in the Nizhnekamsk Industrial Hub], *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology], 2022, no. 4, pp. 45-51. doi: 10.25750/1995-4301-2022-4-045-051 (In Russ., abstract in Eng.)

3. Baldassarre B., Schepers M., Bocken N., Cuppen E., Korevaar G., Calabretta G. Industrial Symbiosis: towards a design process for eco-industrial clusters by integrating Circular Economy and Industrial Ecology perspectives, *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 216, no. 3, pp. 446-460. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.091

4. Mar'yev V.A., Smirnova T.S., Guz' L.V., Mankulova Zh.A. [Implementation of the Circular Economy Concept: From Theory to Practice], *Menedzhment v Rossii i za rubezhom* [Management in Russia and Abroad], 2018, no. 6, pp. 58-63. (In Russ., abstract in Eng.)

5. Zakerzadeh M., Shahbodagh B., Ng J., Khalili N. The Use of Waste Tyre Rubber in Stone Mastic Asphalt Mixtures: A Critical Review, *Construction and Building Materials*, 2024, vol. 418, no. 3, pp. 135420. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135420

6. Obukhova S., Budkina A., Korolev E., Gladkikh V. Impacts of Waste Rubber Products on the Structure and Properties of Modified Asphalt Binder: Part I – Crumb Rubber, *Materials*, 2024, vol. 17, no. 19, pp. 4685. doi: 10.3390/ma17194685

7. Mar'yev V.A., Tikhonova I.O. *Tekhnologii pererabotki otkhodov s polucheniyem novoy produktsii : materialy IV Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem* [Waste processing technologies to obtain new products: materials of the IV All-Russian scientific and practical. conf. with international. participation] (Kirov, November 30, 2022), Kirov, 2022, pp. 121-124. (In Russ.)

8. Mar'yev V.A., Shushpanova D.V. [Use of rubber-bitumen composition from secondary rubber-containing raw materials in road industry], *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Advances in chemistry and chemical technology], 2024, vol. 38, no 8(287), pp. 71-74. (In Russ., abstract in Eng.)

9. Mar'yev V.A., Nemtsev V.A., Chernov O.N., Rudenskiy A.V. *Bitumno-rezinovaya kompozitsiya i sposob yeye polucheniya* [Bitumen-rubber composition and method for its production], Russian Federation, 2024, Pat. 2223990 (In Russ.).

10. Available at: https://enadm.ru/uploads/docs/municipal_control/ground_control/2019/normative legal acts/Normative_acts_F_E/Приказ Минприроды России от 08_07_2010 N 238.pdf (accessed 15 January 2025).

Using Secondary Rubber Raw Materials in the Nizhnekamsk Industrial Hub Ecotechnopark

L. A. Nikolaeva, V. A. Maryev, D. V. Shushpanova

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
Russian Road Research Institute, Moscow, Russia;
Research Institute Center for Environmental Industrial Policy, Moscow, Russia

Keywords: secondary rubber raw materials; secondary resources; industrial symbiosis; rubber products; waste recycling; ecotechnopark.

Abstract: In order to exchange material resources and develop new products from secondary materials resulting from waste of enterprises of the Nizhnekamsk industrial hub of the Republic of Tatarstan, a promising scheme of an eco-technopark is proposed, within the framework of which it is planned to form capacities for the recycling of waste rubber products and worn tires to obtain rubber crumb and rubber-bitumen mastics used as raw materials for the production of road construction materials. Assessment of the physical and mechanical properties of rubber-bitumen mastic obtained from a mixture of bitumen and a rubber-containing modifier was carried out. It was found that in the production of mastics, constant mixing is necessary to obtain a homogeneous, plastic and stretchable at low temperatures substance. Based on the results of the study, the ratios of the components for obtaining rubber-bitumen mastic were determined. The calculation of investment costs of production and expected environmental damage to soils in the event of refusal to bury waste rubber products and the organization of production of rubber-bitumen mastics from secondary raw materials (rubber crumb) was carried out using the example of a specific enterprise located in the Nizhnekamsk industrial hub.