

УДК 625.85.06

Бушуева Виктория Александровна, студентка кафедры ХТПНГ, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань

Фатхутдинова Ильсия Мирсалиховна, студентка кафедры ХТПНГ, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань

Вагапов Булат Рустемович, кандидат химических наук, доцент кафедры ХТПНГ, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ РЕЗИНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

Аннотация. В настоящее время одним из направлений исследования модифицирующих агентов является использование вторичных полимеров, а также отходов химической промышленности и автомобильных покрышек. В данной статье рассматриваются различные способы модифицирования нефтяного битума резиновой крошкой, полученной из использованных автомобильных шин. Предлагается методика модифицирования резиновой крошкой при двухстадийном процессе с получением промежуточного продукта – резинобитумного концентрата. Приводятся собственные данные исследований по модифицированию битума резиновой крошкой, а также основные выводы и анализ полученных результатов.

Abstract. Currently, one of the areas of research into modifying agents is the using of recycled polymers, as well as waste from the chemical industry and automobile tires. This article discusses various ways to modify asphalt binders with crumb rubber obtained from used car tires. A technique for modifying crumb rubber in a two-stage process with the production of an intermediate product, a rubber bitumen concentrate, is proposed. The author presents his own research data on the modification of asphalt binder with crumb rubber, as well as the main conclusions and analysis of the results are obtained.

Ключевые слова: битум, резиновая крошка, модификация, методика, утилизация, анализ

Keywords: bitumen, crumb rubber, modification, methodology, recycling, analysis

Введение

Практически все автомобильные дороги имеют асфальтобетонное покрытие, а количество транспорта и интенсивность движения на дорогах с каждым годом все выше. Срок службы и качество асфальтобетонного покрытия зависят в особенности от асфальтобетонной смеси [12]. Нормативный межремонтный пробег автомобильных дорог I-IV категорий согласно ГОСТ 58861-2020 составляет около 24 года, а ремонт верхних слоев асфальтобетонных покрытий проводится раз в 12 лет.

Но в реальности этот срок в разы короче. Дело в том, что нефтяные битумы, входящие в состав асфальтобетонных покрытий, не способны обеспечить долговечность покрытия в условиях современной грузонапряженности [12]. Они имеют такие недостатки, как низкая эластичность, относительная зависимость от температуры окружающего воздуха, недостаточный температурный интервал работоспособности [12, 17]. Поэтому улучшение эксплуатационных характеристик асфальтобетонных смесей можно обеспечить улучшением характеристик битумных вяжущих [9].

На сегодняшний день самым частым модификатором битумных вяжущих являются полимеры, а именно стирол-бутадиен-стирольный полимер (СБС-полимер) [12, 7, 9, 13, 15, 20, 22]. С добавлением пластификатора СБС-полимер набухает и распределяется внутри битума, образуя пространственную структурную сетку, повышая тем самым эластичность, а также улучшая теплостойкие и морозостойкие свойства и сдвиговую устойчивость вяжущего.

Несмотря на ряд преимуществ, битумные вяжущие, модифицированные СБС-полимером, склонны к атмосферному старению под воздействием ультрафиолета и озона из-за наличия в полимере двойных связей, что делает материал недостаточно долговечным [12]. В настоящее время проводятся

исследования в области расширения линейки модификаторов, в том числе с использованием полимерных отходов и отработанных автомобильных шин.

В связи с увеличением количества автотранспортных средств возрастает объем производства шин примерно на 9-10% ежегодно. Проблема повторного использования, переработки и утилизации автомобильных шин имеет важное экономическое и экологическое значение. Изношенные шины – это источник загрязнения окружающей среды продуктами горения I и II класса опасности, не подверженный биологическому распаду, требующий наращению площадей хранения [10].

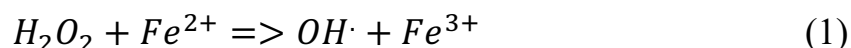
Одним из способов утилизации автошин – это использование измельченной резиновой крошки в модификации нефтяных битумов. Использование резиновой крошки в качестве модификатора повышает вязкость, прочность и теплостойкость битумного вяжущего [2-4, 6, 8, 11, 18, 19, 21, 24].

В Российской Федерации данный модификатор не имеет такого широкого применения в битумных смесях, как стирол-бутадиен-стирольный каучук, а используется в основном как наполнитель в асфальтобетонных смесях, как и в Индии [1].

Резина взаимодействует с битумом по-разному в зависимости от температуры и времени. Если температура слишком высокая или прошло много времени, набухание будет продолжаться до тех пор, пока из-за длительного воздействия высоких температур оно сменится девулканизацией, что вызовет диспергирование каучука в битуме. В результате этого процесса компоненты каучука высвобождаются в жидкую фазу, что приводит к отверждению материала [14, 16, 18, 24, 25, 27, 28].

Существует несколько способов добавления резины в битум и асфальтобетонную смесь. Для добавления в асфальтобетонную смесь используется «сухой» способ, а для добавления в битум – «мокрый» способ и введение по технологии Terminal Blended [27]. В первых двух способах резиновая крошка используется в качестве наполнителя, в последнем – растворяется в битумном вяжущем.

При непосредственном введении резиновой крошки в битумное вяжущее деструкция первой составляет 3-4% масс. при одностадийном процессе и 40-50% масс. при двухстадийном [16, 26]. Для улучшения совместимости их можно использовать активацию резиновой крошки с помощью раствора перекиси водорода и смеси растворов сульфата железа (II) и перекиси водорода, где сульфат железа (II) выступает в качестве катализатора реакции по формуле [2]:



Материалы и методы

Для получения модифицированного битумного вяжущего, использовались следующие четыре основных компонента: битум нефтяной дорожный, резиновая крошка автомобильных шин, масло-пластификатор и стирол-бутадиен-стирольный каучук.

Битум нефтяной дорожный

В качестве исходного компонента использовался битум нефтяной дорожный производства ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез» марки БНД 100/130. Его физико-химические свойства приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика исходного битума БНД 100/130

№ п/п	Наименование показателя	Значение	Требования ГОСТ 33133-2014
1	Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм	103	101-130
2	Температура размягчения по кольцу и шару, °C	46	не ниже 45
3	Растяжимость при 25°C, см	78	не менее 70
4	Растяжимость при 0°C, см	6	не менее 4
5	Температура хрупкости, °C	-22	не выше -20

Данные, приведенные в таблице 1, свидетельствуют о том, что значения показателей для БНД 100/130 соответствуют требованиям ГОСТ 33133-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования».

Результаты исследования группового состава, разработанная ВНИИ НП совместно с Росдорнии, исходного битума представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Групповой состав битума БНД 100/130

Содержание компонентов, масс. %			
Масла	Бензолные смолы	Спирто-бензолные смолы	Асфальтены
56,78	29,73	0,89	12,62

Резиновая крошка

Измельченная резиновая крошка отработанных автомобильных шин была предоставлена ПАО «Татнефть» (г. Альметьевск, Республика Татарстан) и содержала фракцию 0,5 мм.

Масло-пластификатор

Используемое минеральное масло ПН-6Ш, выпускаемое промышленностью с целью пластификации, представляет собой концентрат ароматических углеводородов. Оно термически устойчиво, по воздействию на организм человека относится к IV классу опасности, не имеет резкого неприятного запаха, характеризуется относительно невысокой плотностью, составляющей 960...980 кг/м³. Кроме того, данный пластификатор способствует снижению вязкости модифицированных битумных вяжущих при рабочих температурах и понижает температуру хрупкости по Фраасу конечного продукта [5]. Физико-химические свойства масла-пластификатора ПН-6Ш приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-химические свойства масла-пластификатора ПН-6Ш

№ п/п	Наименование показателя	Значение по ТУ 38.1011217-89
1	Плотность при 20°C, г/см ³	0,950-0,980
2	Вязкость кинематическая при 100°C, мм ² /с	28-40
3	Показатель преломления 50°C	1,515-1,555
4	Анилиновая точка, °C	35-70
5	Температура вспышки в открытом тигле, °C	не ниже 230
6	Температура застывания, °C	не ниже 36
7	Содержание механических примесей, %	отсутствие

воды n-метилпирролидона, % парафино-нафтеновых углеводов, % смол, %	следы не ниже 0,01 не ниже 20 не ниже 8
--	--

Стирол-бутадиен-стирольный каучук

В процессе работы в качестве синтетического полимерного модификатора первичного происхождения был использован стирол-бутадиен-стирольный каучук марки СБС Л30-01 А. Характеристика физических свойств СБС-полимера представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика физических свойств СБС-полимера

№ п/п	Наименование показателя	Значение по ТУ 2294-018-00148889-2013
1	Кинематическая вязкость при 25°С, сСт, не более	9-19
2	Массовая доля связанного стирола, % масс.	28,5-31,5
3	Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	700
4	Показатель текучести расплава 200°С/5 кгс, г/10 мин	<1
5	Массовая доля летучих веществ, % масс.	≤0,8
6	Массовая доля золы, % масс.	≤0,3
7	Условная прочность при растяжении, МПа	15
8	Модуль упругости при удлинении 300%, МПа	2,7
9	Твердость по Шору А за 1 сек., усл. ед.	80

Для решения поставленных задач применялись методики испытаний из ГОСТ 33133-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования» и ГОСТ 52056-2003 «Вязущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол» п. 6.1. Испытания проводились в лаборатории, предоставленной ФГБОУ ВО «КНИТУ», кафедра ХТПНГ с использованием аттестованного лабораторного оборудования, поверенных и калиброванных средств измерений.

Для моделирования в лабораторных условиях производственного процесса получения битума, модифицированного резиновой крошкой, было

использовано перемешивающее устройство с мотором-редуктором и нагревательная плитка.

Обсуждение результатов

В настоящее время резиновая крошка активно применяется в битумных материалах в качестве наполнителя, что не позволяет в полной степени реализовать потенциал свойств резинового модификатора. В связи с этим целью работы является получение однородных резинобитумных вяжущих. Для достижения этой цели в процессе исследования был выбран двухстадийный процесс для увеличения степени деструкции резиновой крошки. Согласно статье [23] для повышения эффективности совмещения в качестве времени перемешивания на обеих стадиях было выбрано 4 часа. Количество резиновой крошки в тестовых образцах – 1% масс. на общую массу образца.

Получение однородного вяжущего проходило в две стадии с образованием промежуточного продукта – резинобитумного концентрата. Концентрат – вяжущее с содержанием модификатора (в данном случае резины) больше, чем в конечном продукте. Использование концентрата как промежуточного продукта было необходимо для совмещения битума и резиновой крошки, которое проходит при температуре 230°C [18]. При таких высоких температурах и длительном времени перемешивания (4 часа) происходит «старение» битума, что негативно сказывается на свойствах вяжущего.

На первой стадии получения резинобитумного вяжущего получали резинобитумный концентрат при перемешивании при температуре 230°C, выбранной согласно результатам статьи [18], в течение 4 часов. Вторая стадия – получение конечного образца путем компаундирования с исходным битумом в соотношении 1:1 с добавлением во второй и третьей группе образцов масла-пластификатора ПН-6Ш и полимера СБС Л30-01А в количестве 1% масс. и 2% масс. соответственно, причем вторая и третья группа отличаются порядком введения добавок.

Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм	103	64	61	57	58	59	57
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	46	52	53	58	59	64	65
Растяжимость при 25°C, см	78	50	47	75	77	61	67
Эластичность при 25°C, %	-	67	66	91	85	89	94
Температура хрупкости, °С	-22	-21	-24	-26	-28	-28	-25

По данным таблицы 5 можно отметить, что показатели глубины проникания иглы резко уменьшаются после добавления в битум резиновой крошки, а затем СБС-полимера, что может свидетельствовать об увеличении прочности битумного вяжущего после встраивания полимерных структур в коллоидную структуру битума. Температура размягчения образцов увеличивается как при введении резиновой крошки, так и СБС-полимера в состав вяжущего, что обусловлено влиянием высокомолекулярных соединений на теплостойкость битумного вяжущего. Кроме того, добавление в битумное вяжущее СБС-полимера улучшает его эластичные свойства. Введение резиновой крошки в вяжущее также увеличивает эластичность, однако, ввиду увеличившейся прочности коллоидной структуры битума показатель растяжимости снижается. Также важно, как исследуемые модификаторы влияют на низкотемпературные свойства полученных вяжущих. Так, добавление резиновой крошки в состав вяжущего практически не влияет на низкотемпературные свойства, однако, совместное действие СБС-полимера и масла-пластификатора существенно снижает данный показатель.

Выводы

Добавление резиновой крошки в битум упрочняет вяжущее и повышает его высокотемпературные свойства. Вероятно, это обусловлено девулканизацией резиновой крошки при условиях приготовления резинобитумного концентрата, что способствует ее вовлечению в объем битумного вяжущего. Это подтверждается теоретическими данными о температуре деструкции резины и проведенными тестами на однородность. При этом резиновая крошка обладает устойчивостью к атмосферному старению.

Добавление в резинобитумное вяжущее стирол-бутадиен-стирольного каучука способствует улучшению высокотемпературных, вязкостно-эластичных и низкотемпературных свойств вяжущих, что повышает показатели резинобитумного вяжущего при меньшем количестве дорогостоящего синтетического полимера.

Таким образом, по результатам исследования выявлено, что модификация битумных вяжущих резиновой крошкой приводит к улучшению физико-механических показателей вяжущего. Но несмотря на улучшение свойств и однородность вяжущего, резиновая крошка не может использоваться как индивидуальный модификатор из-за того, что добавлением только резиновой крошки не удалось достигнуть высоких показателей по высоко- и низкотемпературным, а также по вязкостно-эластичным свойствам. Данные свойства можно придать вовлечением в резинобитумное вяжущее СБС-полимера. В итоге, в результате эксперимента была получена комплексная добавка из резиновой крошки и стирол-бутадиен-стирола.

Список литературы

1. Amrita Roy, Kasilingam Rajkumar, Bharat Kargate Crumb rubber modified asphalt: fundamentals to recent developments // Asphalt materials – Recent Developments and new perspective, 2024, p. 1-16

2. Khaldoun M. Shatanawi, Szabolcs Biro, Mohammad Naser, Serji N. Amirghanian Improving rheological properties of crumb rubber modified binder using hydrogen peroxide // Road materials and pavement design, 2013, №3, p. 723-734

3. Sampat Kedarisetty, Krishna Prapoorna Biligiri, Jorge B. Sousa Advanced rheological characterization of reacted and activated rubber (rar) modified asphalt binders // Construction and building materials, 2016, №122, p. 12-22

4. Wenhua Zheng, Hainian Wang, Yu Chen, Jie Ji, Zhanping You, Yuqing Zhang A review on compatibility between crumb rubber and asphalt binder // Construction and building materials, 2021, №297, p. 1-18

5. Абдуллин А.И. Битумные вяжущие материалы [Текст]: учебное пособие / А.И. Абдуллин, Т.Ф. Ганиева, М.Р. Идрисов, Е.А. Емельянычева, Г.К. Бикмухаметова, Р.И. Сибгатуллина – Санкт Петербург: Проспект науки, 2017.- с. 38

6. Ахмадова Х.Х., Махмудова Л.Ш., Хадисова Ж.Т., Абдулмежидова З.А. Модифицирование битумных вяжущих резиновой крошкой: аналитический обзор // Научные исследования: итоги и перспективы, 2020, №2, с. 10-28

7. Ахмадова Х.Х., Хадисова Ж.Т., Махмудова Л.Ш., Абдулмежидова З.А., Мусаева М.А. Основные способы модификации битумов различными добавками // Вестник ГГНТУ. Технические науки, 2019, №3, с. 42-56

8. Балабанов В.Б., Стратикапулова А.В. Улучшение качества асфальтобетонной смеси путем введения резиновой крошки // Молодой ученый, 2023, №17, с. 63-64

9. Беляев П.С., Полушкин Д.Л., Макеев П.В., Фролов В.А. Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками // Вестник тамбовского государственного технического университета, 2016, №2, с. 264-271

10. Вабищевич К.Ю., Коновалов Н.П., Коновалов П.Н., Хозеев Е.О. Использование отходов резины для модификации вяжущего в асфальтобетоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020, №2, с.18-25

11. Вахьянов Е.М., Лукьянова М.А. Обоснование рационального состава битумных вяжущих модифицированных резиновой крошкой // VII Всероссийская научная конференция молодых ученых с международным участием «Россия молодая», 21-24 апреля 2015, г. Кемерово

12. Вольфсон С.И., Хакимуллин Ю.Н., Закирова Л.Ю., Хусаинов А.Д., Вольфсон И.С., Макаров Д.Б., Хозин В.Г. Модификация битумов, как способ повышения их эксплуатационных свойств // Вестник технологического университета, 2016, №17, с. 29-33

13. Вольфсон С.И., Хакимуллин Ю.Н., Закирова Л.Ю., Хусаинов А.Д., Вольфсон И.С., Макаров Д.Б., Хозин В.Г. Разработка полимерных добавок для модификации дорожного битума сообщение 1. Исследование эксплуатационных характеристик составов битум-полимерных вяжущих // Вестник технологического университета, 2016, №19, с. 95-98

14. Иванов С.А., Вахьянов Е.М. Обоснование рационального технологического режима получения композиционных резинобитумных вяжущих // Международная научно-практическая конференция, 2015, с. 496-503

15. Иванова М.И., Емельянычева Е.А., Крыгина А.С. Модификация битумных вяжущих отходами нефтяной промышленности // Нефтяная столица, 2022, с. 218-220

16. Иванов С.А., Шабаев С.Н. Исследование влияния стадийности технологического процесса получения композиционных резинобитумных вяжущих на их свойства // Вестник ТГАСУ, 2016, №4, с. 153-158

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

18. Карпенко Д.В., Разинькова С.А. Особенности производства асфальтобетонных смесей, модифицированных резиновой крошкой // Новая наука: проблемы и перспективы, 2015, №4, с. 110-111

19. Корнейчук Г.К., Буценко Ю.А. Новое высококачественное вяжущее для асфальтобетонных дорожных покрытий с эффективным использованием резины шинных отходов // Вестник инженерной школы ДВФУ, 2015, №4, с. 22-28

20. Котенко Н.П., Щерба Ю.С., Евфорицкий А.С. Влияние полимерных и функциональных добавок на свойства битума и асфальтобетона // Технические науки, 2019, №1, с. 94-99

21. Сачкова А.В., Духовный Г.С. Получение колеестойкого асфальтобетона с применением композиционного резинобитумного вяжущего // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013, №6, с. 49-51

22. Хайбуллина А.А., Манянина А.Е., Вагапов Б.Р. Пластичные свойства полимерно-битумных вяжущих на основе полимеров нефтехимии // Химические проблемы современности 2020, 2020, с. 378-379

23. Шабаев С.Н. Параметр оптимизации процесса совмещения резиновой крошки с нефтяным битумом // Вестник ВСГУТУ, 2017, №3, с. 28-32

24. Шабаев С.Н. Теоретические основы моделирования процесса модификации битумов резиновой крошкой // Приволжский научный журнал, 2016, №4, с. 66-74

25. Шабаев С.Н. Факторы, влияющие на эффективность процесса модификации нефтяных битумов резиновой крошкой // Научный журнал строительства и архитектуры, 2018, №1, с. 46-55

26. Шабаев С.Н., Иванов С.А. Обоснование степени деструкции резиновой крошки в резинобитумном вяжущем // Вестник ВСГУТУ, 2019, №4, с. 89-94

27. Шабаев С.Н., Иванов С.А. Обоснование числа стадий введения резиновой крошки на эффективность процесса модификации битумов // Х

Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия молодая», 24-27 апреля 2018, г. Кемерово, с. 1-5

28. Шабаетв С.Н., Иванов С.А., Вахьянов Е.М. Оценка технологических параметров растворения резиновой крошки при получении резинобитумного вяжущего // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2013, №2, с. 106-107

References

1. Amrita Roy, Kasilingam Rajkumar, Bharat Kapgate Crumb rubber modified asphalt: fundamentals to recent developments // Asphalt materials – Recent Developments and new perspective, 2024, p. 1-16

2. Khaldoun M. Shatanawi, Szabolcs Biro, Mohammad Naser, Serji N. Amirghanian Improving rheological properties of crumb rubber modified binder using hydrogen peroxide // Road materials and pavement design, 2013, №3, p. 723-734

3. Sampat Kedarisetty, Krishna Prapoorna Biligiri, Jorge B. Sousa Advanced rheological characterization of reacted and activated rubber (rar) modified asphalt binders // Construction and building materials, 2016, №122, p. 12-22

4. Wenhua Zheng, Hainian Wang, Yu Chen, Jie Ji, Zhanping You, Yuqing Zhang A review on compatibility between crumb rubber and asphalt binder // Construction and building materials, 2021, №297, p. 1-18

5. Abdullin A.I. Bituminous binders [Text]: a textbook / A.I. Abdullin, T.F. Ganieva, M.R. Idrisov, E.A. Yemelyanycheva, G.K. Bikmukhametova, R.I. Sibgatullina – St. Petersburg: Prospect Nauki, 2017.- p. 38

6. Akhmadova Kh.Kh., Makhmudova L.Sh., Hadisova Zh.T., Abdulmezhidova Z.A. Modification of bitumen binders with rubber chips: an analytical review // Scientific research: results and prospects, 2020, No. 2, pp. 10-28

7. Akhmadova Kh.Kh., Hadisova Zh.T., Makhmudova L.Sh., Abdulmezhidova Z.A., Musaeva M.A. The main methods of bitumen modification with various additives // Bulletin of GGNTU. Technical Sciences, 2019, No. 3, pp. 42-56

8. Balabanov V.B., Stratikapulova A.V. Improving the quality of an asphalt mixture by introducing rubber crumbs // *Young Scientist*, 2023, No. 17, pp. 63-64

9. Belyaev P.S., Polushkin D.L., Makeev P.V., Frolov V.A. Modification of petroleum road bitumen with polymer materials for obtaining asphalt concrete coatings with increased performance characteristics // *Bulletin of the Tambov State Technical University*, 2016, No. 2, pp. 264-271

10. Vabishevich K.Yu., Konovalov N.P., Konovalov P.N., Khozeev E.O. The use of rubber waste for binder modification in asphalt concrete // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2020, No. 2, pp.18-25

11. Vakhyanov E.M., Lukyanova M.A. Substantiation of the rational composition of bitumen binders modified with rubber chips // VII All-Russian Scientific Conference of young scientists with international participation "Young Russia", April 21-24, 2015, Kemerovo

12. Wolfson S.I., Khakimullin Yu.N., Zakirova L.Yu., Khusainov A.D., Wolfson I.S., Makarov D.B., Khozin V.G. Modification of bitumen as a way to increase their operational properties // *Bulletin of the Technological University*, 2016, No. 17, pp. 29-33

13. Wolfson S.I., Khakimullin Yu.N., Zakirova L.Yu., Khusainov A.D., Wolfson I.S., Makarov D.B., Khozin V.G. Development of polymer additives for modification of road bitumen message 1. Investigation of the operational characteristics of bitumen polymer binders // *Bulletin of the University of Technology*, 2016, No. 19, pp. 95-98

14. Ivanov S.A., Vakhyanov E.M. Substantiation of a rational technological regime for the production of composite rubber binders // *International Scientific and Practical Conference*, 2015, pp. 496-503

15. Ivanova M.I., Yemelyanycheva E.A., Krygina A.S. Modification of bitumen binders by oil industry waste // *Oil Capital*, 2022, pp. 218-220

16. Ivanov S.A., Shabaev S.N. Investigation of the effect of the stage-by-stage technological process of obtaining composite rubber-bitumen binders on their properties // *Bulletin of TSASU*, 2016, No. 4, pp. 153-158

17. Ivanov S.A., Shabaev S.N., Tyuryukhanov K.Yu. Utilization of rubber chips by production of modified bitumen // Engineering Bulletin of Don, 2022, No. 9

18. Karpenko D.V., Razinkova S.A. Features of the production of asphaltic concrete mixtures modified with rubber chips // New Science: problems and prospects, 2015, No. 4, pp. 110-111

19. Korneychuk G.K., Butsenko Yu.A. New high-quality binder for asphalt-concrete road surfaces with effective use of rubber from tire waste// Bulletin of the FEFU School of Engineering, 2015, No. 4, pp. 22-28

20. Kotenko N.P., Shcherba Yu.S., Evforitsky A.S. The influence of polymer and functional additives on the properties of bitumen and asphalt concrete // Technical Sciences, 2019, No. 1, pp. 94-99

21. Sachkova A.V., Dukhovny G.S. Obtaining a track-resistant asphalt concrete using a composite rubber-bitumen binder // Bulletin of the BSTU named after V.G. Shukhov, 2013, No. 6, pp. 49-51

22. Khaibullina A.A., Manyanina A.E., Vagapov B.R. Plastic properties of polymer-bitumen binders based on petrochemical polymers // Chemical problems of modernity 2020, 2020, pp. 378-379

23. Shabaev S.N. Optimization parameter of the process of combining rubber chips with petroleum bitumen // Bulletin of VSGUTU, 2017, No. 3, pp. 28-32

24. Shabaev S.N. Theoretical foundations of modeling the process of bitumen modification with rubber chips // Privolzhsky Scientific Journal, 2016, No. 4, pp. 66-74

25. Shabaev S.N. Factors influencing the efficiency of the process of modifying petroleum bitumen with rubber chips // Scientific Journal of Construction and Architecture, 2018, No. 1, pp. 46-55

26. Shabaev S.N., Ivanov S.A. Substantiation of the degree of destruction of rubber chips in a rubber-bitumen binder // Bulletin of VSGUT, 2019, No. 4, pp. 89-94

27. Shabaev S.N., Ivanov S.A. Substantiation of the number of stages of introducing rubber chips for the effectiveness of the bitumen modification process // X All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists "Russia of Youth", April 24-27, 2018, Kemerovo, pp. 1-5

28. Shabaev S.N., Ivanov S.A., Vakhyanov E.M. Evaluation of technological parameters of dissolution of rubber chips in the production of a rubber-bitumen binder // Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2013, No. 2, pp. 106-107