А.Х. Вагапова, Г.М. Кузнецова, С.В. Балакирева, В.О. Кузнецов (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ДОРОЖНЫЙ БИТУМ, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ШИН

Albina Kh. Vagapova, Gulnara M. Kuznetsova, Svetlana V. Balakireva, Vadim O. Kuznetsov (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

ROAD BITUMEN MODIFIED BY RUBBER CRUSH OBTAINED FROM WASTE TIRES

Введение

Статья посвящена решению актуальной проблемы ресурсосбережения путем рационального возврата вторичного ресурса - отработанных автомобильных шин в производство битума для дорожного строительства.

Цели и задачи

Цель работы - определение оптимальной рецептуры дорожного битума при наполнении его мелкодисперсным резиновым отходом с помощью программного комплекса Statistica 10.0.

Методы

Об эксплуатационных показателях дорожного битума судили по пенетрации и температуре размягчения. Глубину проникновения иглы определяли согласно ГОСТ 33136-2014 с помощью поверенного прибора пенетromетра ПН - 20Б. Определение температуры размягчения битума проводили по ГОСТ 33142-2014. Статистическое математическое моделирование проводилось с помощью программного комплекса Statistica 10.0 для Windows (фирма StatSoft).

Background

The article is devoted to solving the urgent problem of resource conservation by rational return of the secondary resource - used car tires in the production of bitumen for road construction.

Aims and Objectives

The purpose of this work is determination of the optimal formulation of road bitumen when filling it with fine rubber waste using the Statistica 10.0 software package.

Methods

The performance of road bitumen was judged by penetration and softening temperature. The penetration depth of the needle was determined in accordance with GOST 33136-2014 using a verified device, a PN-20B penetrometer. Determination of the softening point of bitumen was carried out in accordance with GOST 33142-2014. Statistical mathematical modeling was carried out using the Statistica 10.0 software for Windows (StatSoft).

Результаты

В результате исследований, проведенных методом математического моделирования (программный комплекс Statistica 10.0) установлено, что введение в состав битума отхода - резиновой крошки положительно сказывается на его эксплуатационных дорожных характеристиках, существенно сокращает объемы потребляемых в производстве ресурсов (за счет использования вторичного сырья) при одновременном повышении качества материала.

Results

As a result of studies carried out by the method of mathematical modeling (Statistica 10.0 software package), it was found that the introduction of waste - crumb rubber into the bitumen composition has a positive effect on its operational road characteristics, significantly reduces the volume of resources consumed in production (due to the use of recyclable materials) while increasing the quality of the material.

Ключевые слова: дорожный битум; математическое моделирование; программа Statistica 10.0; отход; резиновая крошка; оптимальный состав; эксплуатационные свойства

Keywords: bitumen; mathematical modeling; Statistica 10.0 program; waste; rubber crumb; optimal composition; operational properties

Введение

В современном мире увеличивается количество транспортных средств. По данным аналитического агентства «АВТОСТАТ» только на территории Российской Федерации насчитывается более 51 млн автомобилей [1]. В то же время автотранспорт создает большой объем отходов. Так, в России в 2015 г. количество резиносодержащих отходов составило 90,3 тыс. т [2]. В мировом масштабе количество изношенных шин оцениваются в 25 млн т с ежегодным приростом в 7 млн т [3]. Покрышки и шины являются ценнейшим вторресурсом, так как содержат полезные утильные фракции, натуральный каучук (45-52 %), технический углерод (25-35 %) и металл (10-15 %).

В Европейских странах уровень сбора и утилизации изношенных автошин охватывает почти 100 %. Утильные фракции имеют большой спрос в ряде секторов экономики.

Резиновая крошка применяется при изготовлении гидроизоляционных материалов, дорожных покрытий, а также добавляется в качестве наполнителя в автодорожный асфальтобетон [1, 3, 4].

В России в настоящее время наблюдается проблема учета образования и движения резиносодержащих транспортных отходов ввиду того, что около 20 % из них незаконно сжигается [3], часть используется населением при благоустройстве селитебных территорий или захоранивается на несанкционированных объектах [2, 5].

Государственная экологическая политика России по утилизации отходов основана на реализации Государственной программы «Охрана окружающей среды на 2012-2020 гг.» и внедрении Национального проекта «Экология».

Отработанные автомобильные шины относятся к отходам, содержащим ценные вторичные сырьевые компоненты, которые должны быть возвращены в производство

для получения новой продукции [6]. Их переработку необходимо производить, согласно информационно-техническим справочникам, по применению наилучших доступных технологий с максимальным извлечением ценных фракций [7, 8]. О необходимости повторного применения изношенных автошин указано и в «Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» [2].

Основным продуктом переработки изношенных автошин является рекуперация отхода резины, ее дробление до состояния крошки. Наиболее перспективная область применения крошки - использование в качестве модификатора битума для дорожного строительства.

Вопрос добавления отхода дробленной резиновой крошки в состав дорожных битумов исследуется давно.

Анализ литературных данных показывает, что мелкодисперсная резиновая добавка изменяет характеристики дорожной смеси [9]. При ее введении улучшается сопротивление деформациям при высоких температурах, увеличивается долговечность, повышается трещиностойкость. В то же время увеличивается время смешения компонентов, ограничивается уплотняемость, повышается стоимость и т.д. [3, 10].

Одним из современных способов исследования качества продукта в условиях рыночной экономики является статистическая математическая обработка.

Новейшие математические методы включены в программное обеспечение (ПО) комплекса Statistica 10.0 для Windows (фирма StatSoft). Визуальные методы анализа параметров эксперимента позволяют выявить нелинейные взаимосвязи между исходными данными. Трехмерное изображение показывает значения по каждой из переменных без перекрытий.

Целью данной работы являлось определение оптимального соотношения компонентов битума, модифицированного резиновой крошкой, с помощью математического моделирования с

применением программного комплекса Statistica 10.0 (фирма StatSoft).

Материалы и методы

Объектами исследований являлись: битум, произведенный на ПАО АНК «Башнефть» - «Башнефть-Уфанефтехим», резиновая крошка от автошин (отход 4 класса опасности [11]) и нафталиновая фракция каменноугольной смолы.

Характеристика битума приведена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики образца дорожного битума

Показатель	Образец битума	Битум марки БНД 70/100 (согласно [12])
Температура размягчения, не ниже, °C	49	47
Глубина проникания иглы при 25 °C, 0,1 мм	79	71-100
Глубина проникания иглы при 0 °C, не менее, 0,1 мм	22	21
Растяжимость при 25 °C, не менее, см	>100	62
Растяжимость при 0 °C, не менее, см	10	3,7
Температура хрупкости (по Фраасу), не выше, °C	-18	-18

К основным структурно-механическим показателям, улучшающим свойства дорожного покрытия, относятся: вязкость, пластичность и адгезия.

Вязкость определяет способность битума сопротивляться перемещению внутренних слоев относительно друг друга при воздействии внешних сил и зависит от химического состава и температуры.

Повышение температуры снижает вязкость, а понижение - быстро увеличивает ее. Вязкость измеряют глубиной проникновения иглы пенетromетра.

Пластичность битума характеризует его растяжимость при воздействии нагрузки без разрывов и трещин, зависит от температуры, химического состава и структуры. Низкие температуры ухудшают пластичность, она сменяется хрупкостью.

Повышение в составе битума содержания смол и асфальтенов увеличивает его пластичность.

Адгезия битума характеризует прилипание к поверхности минеральных и органических материалов, сцепление в монолитное состояние минеральных зерен заполнителей и зависит от чистоты и активности поверхности материала. Адгезию улучшают введением в состав битума поверхностно-активных веществ.

Битумы должны обладать способностью противостояния атмосферным воздействиям в течение эксплуатационного периода дорожного покрытия. Со временем происходит старение битума, изменяются его физические свойства, увеличивается вязкость, снижается пластичность.

В условиях роста транспортных нагрузок, изменения метеорологических показателей (потепление климата) обычной пластичности дорожных битумов (интервал 60-65 °С) недостаточно для придания верхним слоям покрытия требуемого качества.

Решением проблемы является улучшение физико-химических свойств битума за счет модифицирования его состава наполнителями.

Патентный поиск показал, что для оптимизации эксплуатационных характеристик в битум вместе с резиновой крошкой вводят:

- органические основания. Для получения смеси используется герметичный реактор и избыточное давление. Процесс приготовления - прерывистый [13];

- углеводородные масла и низкомолекулярный жидкий каучук. Процесс приготовления длительный, требующий многократных загрузок и прогрева. В составе применяются дорогие реагенты [14];

- нафталиновую фракцию каменноугольной смолы. Характерно простое аппаратное оформление, минимальное количество стадий, короткое время приготовления смесей, недорогие реагенты, а также возможность осуществлять процесс в непрерывном режиме [15].

В лабораторных исследованиях модифицирование битума осуществляли по технологии [15].

Смесь битума и нафталиновой фракции каменноугольной смолы нагревали в двухлитровой негерметичной емкости, имеющей обогревающую рубашку, до 100 °С.

Перемешивание осуществляли механическим лопастным смесителем. После введения мелкодисперсной резиновой крошки с диаметром частиц 5-10 мм температура смеси повышалась до 210 °С, и осуществлялось перемешивание в течение 60 мин.

Горячую смесь продавливали через фильтр с диаметром пор 1 мм с помощью шнекового устройства.

Далее готовая композиция сливалась через металлическую сетку в емкость для хранения.

О свойствах образцов битума, модифицированных резиновой крошкой, судили по пенетрации и температуре размягчения. Пенетрация - условная величина, характеризующая вязкость и твердость битума.

Методика определения основана на погружении иглы в битум при температурах 0 °С и 25 °С в течение 5 с при нагрузке 100 г [16]. Глубину проникновения иглы измеряли с помощью пенетromетра ПН - 20Б.

На рисунке 1 представлен образец после проведения испытания.

Температура размягчения битума обусловлена потерей вязких свойств материала при переходе из упругопластичного в вязкотекучее состояние при температуре окружающей среды.

Рисунок 1. Образец битума после проведения испытания

Исследование заключалось в определении температуры, при которой образец размягчается под действием металлического шарика весом $3,50 \pm 0,50$ г [17].

Результаты исследований

Вулканизированная резина из отработанных автомобильных шин

подвергалась предварительной термомеханической обработке до получения резиновой крошки с размером частиц 5-10 мм. Битумно-резиновая композиция включала (% масс.): битум - 60-95, резиновую крошку - 0-40 и нафталиновую фракцию каменноугольной смолы - 5-11. Каменноугольная смола - смесь ароматических и гетероциклических соединений, применяется в качестве пластификатора, ускоряет процесс растворения резины в битуме.

Результаты исследований приведены в таблице 2.

На основании полученных результатов проводился многофакторный эксперимент в среде Statistica 10.0 с целью выбора оптимальной рецептуры битумной композиции в зависимости от содержания отхода резиновой крошки и нафталиновой фракции каменноугольной смолы.

После ввода первичных данных (таблица 2) проводились математические расчеты.

В план эксперимента были включены следующие факторы:

x_1 - содержание битума, % масс.;

x_2 - содержание резиновой крошки, % масс.;

x_3 - содержание нафталиновой фракции каменноугольной смолы, %.

Таблица 2. Свойства образцов битума в зависимости от содержания компонентов

Содержание резиновой крошки, %	Содержание нафталиновой фракции каменноугольной смолы, %	Содержание битума, %	Температура размягчения, °C	Глубина проникания иглы при 25 °C, мм
0	0	100	43	99
5	5	90	44	99,9
10	6	84	45,8	102
15	7	78	48	112
20	8	72	52	140
25	9	66	42,5	219
30	10	60	41,5	232
40	11	49	41	250

Для упрощения расчетов натуральные значения факторов x_j кодировались по формуле:

$$x_j = \frac{\tilde{x}_j - \tilde{x}_{j0}}{J_j}, \quad (1)$$

где x_j - кодированное значение;

$\tilde{x}_j$ - натуральное значение j -го фактора;

$\tilde{x}_{j0}$ - натуральное значение основного уровня j -го фактора;

J_j - интервал варьирования j -го фактора.

Интервалы варьирования факторов определялись по формуле:

$$J_j = \frac{\tilde{x}_{j\max} - \tilde{x}_{j\min}}{2}, \quad (2)$$

где $\tilde{x}_{j\max}$ - значение фактора на верхнем уровне;

$\tilde{x}_{j\min}$ - значение фактора на нижнем уровне.

В эксперименте предполагали, что искомая модель исследуемого процесса является линейной и может быть представлена полиномом первого порядка. В таком случае достаточно варьирования каждого из факторов ($k = 3$) на двух уровнях. Таким образом, минимальное число опытов составит 8 ($N = 2^3$). Однако с учетом параллельных опытов их число увеличивается до 16 ($N^n = 8^2$).

Результаты экспериментов приведены на рисунках 2-5. Представленные зависимости свидетельствуют о том, что оптимальное содержание резиновой крошки в составе битума не должно превышать 18 %. Дальнейшее увеличение ее содержания приводит, с одной стороны, к резкому падению температуры размягчения по сравнению с немодифицированным битумом, а, с другой, - к резкому увеличению пенетрации.

Рисунок 2. Зависимость глубины проникания иглы в битум от содержания наполнителей
(глубина проникания: $= 94,8588 + 6,5352 \cdot x - 8,0639 \cdot y$)

Рисунок 3. Зависимость глубины проникания иглы в битум от содержания наполнителей (по методу наименьших квадратов)

Рисунок 4. Зависимость свойств битума от содержания резиновой крошки

Рисунок 5. Зависимость свойств битума от содержания нафталиновой фракции каменноугольной смолы

Из рисунка 5 следует, что оптимальное соотношение пластификатора в модифицированном битуме находится в пределах от 6 % масс. до 7 % масс. В данном диапазоне достигаются наилучшие показатели температуры размягчения и пенетрации.

Вывод

Применение математического моделирования позволяет определить

оптимальное соотношение компонентов битума, модифицированного резиновой крошкой. Добавление резиновой крошки в количестве не более 18 % масс. позволяет не только улучшить исследуемые эксплуатационные характеристики битума, но и повышает экологические показатели по ресурсосбережению в результате рационального возврата вторичного ресурса, потерявшего потребительские свойства (изношенные автошины), в производство.

Список литературы

1. Автостат. Аналитическое агентство. URL: <https://www.autostat.ru/> (дата обращения: 22.03.2021).
2. Распоряжение Правительства РФ от 25.01.2018 № 84-р «Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на

References

1. *Avtostat. Analiticheskoe agentstvo* [Autostat. Analytical Agency]. Available at: <https://www.autostat.ru/> (accessed 22.03.2021). [in Russian].
2. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 25.01.2018 № 84-r «Strategiya razvitiya promyshlennosti po obrabotke, utilizatsii i obezvrezhivaniyu otkhodov proizvodstva i potrebleniya na period do 2030 goda»*

период до 2030 года» // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71767672/> (дата обращения: 22.03.2021).

3. ГОСТ Р 54095-2010. Ресурсосбережение. Требования к безопасной утилизации отработавших шин. М.: Стандартинформ, 2019. 36 с.

4. Руденская И.М., Руденский А.В. Использование отходов потребления и производства технической резины в дорожном строительстве. М.: ЦБНТИ Росавтотдор, 1992. Вып. 2. 59 с.

5. Балакирева С.В., Кузнецова Г.М. Анализ эффективности сбора твердых коммунальных отходов // Обращение с отходами: современное состояние и перспективы: сб. ст. II Международ. науч.-практ. конф. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. С. 8-12.

6. Распоряжение Правительства РФ от 25.07.2017 № 1589-р «Об утверждении перечня видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается» // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/71735154/> (дата обращения: 23.03.2021).

7. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям № 9-2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическим способом». М.: Бюро НДТ, 2020. 200 с.

8. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям № 15-2016 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отхода))». М.: Бюро НДТ, 2016. 198 с.

9. McNally T. Polymer Modified Bitumen: Properties and Characterization. Philadelphia: Woodhead Publishing, 2011. 417 p.

10. Асельдеров Б.Ш., Лернер М.И., Печеный Б.Г. Влияние режимов приготовления асфальтобетонных смесей с резиновой крошкой «Унирем» на свойства асфальтобетонов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2011. № 2 (21). С. 131-137.

11. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (с посл. изм. и доп. от 02.11.2018 г.) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/71695086/> (дата обращения: 24.03.2021).

12. ГОСТ 33133-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.

13. Пат. 2164927 РФ, МПК С 08 L 95/00. Битумно-резиновая композиция и способ ее получения / Б.А. Розенберг, Я.И. Эстрин, Г.А. Эстрина. 98115255/04, Заявлено 07.08.1998; Опубл. 10.04.2001. Бюл. 10.

14. Пат. 2162475 РФ, МПК С 08 L 95/00. Способ получения битумной композиции и битумная

[Order of the Government of the Russian Federation of January 25, 2018 No. 84-r «Strategy for the Development of Industry for the Processing, Disposal and Disposal of Production and Consumption Waste for the Period up to 2030»]. Informatsionno-pravovoe obespechenie «Garant». Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71767672/> (accessed 22.03.2021). [in Russian].

3. GOST R 54095-2010. Resursosberezhenie. Trebovaniya k bezopasnoi utilizatsii otrabotavshikh shin [State Standard R 54095-2010. Resources Conservation. Requirements for Environmental Recovery of Used Tyres]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 36 p. [in Russian].

4. Rudenskaya I.M., Rudenskii A.V. Ispol'zovanie otkhodov potrebleniya i proizvodstva tekhnicheskoi reziny v dorozhnom stroitel'stve [Use of Waste from Consumption and Production of Technical Rubber in Road Construction]. Moscow, TsBNTI Rosavtodor Publ., 1992, Issue 2. 59 p. [in Russian].

5. Balakireva S.V., Kuznetsova G.M. Analiz effektivnosti sbora tverdykh kommunal'nykh otkhodov [Analysis of the Efficiency of Collection of Municipal Solid Waste]. Sbornik statei II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Obrashchenie s otkhodami: sovremennoe sostoyanie i perspektivy» [Collection of Articles of the II International Scientific and Practical Conference «Waste Management: Current State and Prospects»]. Ufa, UGNTU Publ., 2020, pp. 8-12. [in Russian].

6. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 25.07.2017 № 1589-r «Ob utverzhdenii perechnya vidov otkhodov proizvodstva i potrebleniya, v sostav kotorykh vkhodyat poleznye komponenty, zakhoroneniye kotorykh zapreshchaetsya» [Order of the Government of the Russian Federation of July 25, 2017 No. 1589-r «On Approval of the List of Types of Production and Consumption Wastes, which Include Useful Components, the Disposal of which is Prohibited»]. Informatsionno-pravovoe obespechenie «Garant». Available at: <https://base.garant.ru/71735154/> (accessed 23.03.2021). [in Russian].

7. Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam № 9-2020 «Utilizatsiya i obezvrezhivanie otkhodov termicheskim sposobom» [Information and Technical Guide to the Best Available Technologies No. 9-2020 «Thermal Waste Disposal and Neutralization»]. Moscow, Byuro NDT Publ., 2020. 200 p. [in Russian].

8. Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam № 15-2016 «Utilizatsiya i obezvrezhivanie otkhodov (krome obezvrezhivaniya termicheskim sposobom (szhiganiye otkhoda))» [Information and Technical Guide on the Best Available Technologies No. 15-2016 «Waste Disposal and Disposal (Except Thermal Treatment (Waste Incineration))»]. Moscow, Byuro NDT Publ., 2016. 198 p. [in Russian].

9. McNally T. Polymer Modified Bitumen: Properties and Characterization. Philadelphia, Woodhead Publishing, 2011. 417 p.

композиция / Ж.Ж. Лианг, Р.Т. Вудхэмс. 95114379/04, Заявлено 29.12.1993; Опубл. 27.01.2001. Бюл. 3.

15. Пат. 2327719 РФ, МПК С 08 L 95/00. Битумно-резиновая композиция и способ ее получения / В.В. Алексеенко, В.Н. Кижняев, Л.И. Верещагин, Р.Г. Житов, А.И. Смирнов, А.В. Митюгин. 2007113596/04, Заявлено 11.04.2007; Опубл. 27.06.2008. Бюл. 18.

16. ГОСТ 33136-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения глубины проникания иглы. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.

17. ГОСТ 33142-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения температуры размягчения. Метод «Кольцо и Шар». М.: Стандартинформ, 2019. 13 с.

10. Aselderov B.Sh., Lerner M.I., Pechenyi B.G. Vliyanie rezhimov prigotovleniya asfal'tobetonnykh smesei s rezinovoi kroshkoi «Unirem» na svoistva asfal'tobetonov [Effect of Asphalt Mixtures Cooking with Rubber Piece «Unirem» on the Properties of Asphalt Concrete]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki - Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*, 2011, No. 2 (21), pp. 131-137. [in Russian].

11. *Prikaz Rospirodnadzora ot 22.05.2017 № 242 (s posl. izm. i dop. ot 02.11.2018 g.) «Ob utverzhdenii Federal'nogo klassifikatsionnogo kataloga otkhodov»* [Order of Rospirodnadzor Dated May 22, 2017 No. 242 (with the Additions and Amendments of November 2, 2018) «On Approval of the Federal Classification Catalog of Waste»]. Informatsionno-pravovoe obespechenie «Garant». Available at: <https://base.garant.ru/71695086/> (accessed 24.03.2021). [in Russian].

12. GOST 33133-2014. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Bitumy neftyanye dorozhnye vyazkie. Tekhnicheskie trebovaniya* [State Standard 33133-2014. Automobile Roads of General Use. Viscous Road Petroleum Bitumens. Technical Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 12 p. [in Russian].

13. Rozenberg B.A., Estrin Ya.I., Estrina G.A. *Bitumno-rezinovaya kompozitsiya i sposob ee polucheniya* [Bituminous-Rubber Composition and Method for its Production]. Patent RF, No. 2164927, 2001. [in Russian].

14. Liang Zh.Zh., Vudkhems R.T. *Sposob polucheniya bitumnoi kompozitsii i bitumnaya kompozitsiya* [Method for Producing Bituminous Composition and Bituminous Composition]. Patent RF, No. 2162475, 2001. [in Russian].

15. Alekseenko V.V., Kizhnyaev V.N., Vereshchagin L.I., Zhitov R.G., Smirnov A.I., Mityugin A.V. *Bitumno-rezinovaya kompozitsiya i sposob ee polucheniya* [Bituminous-Rubber Composition and Method for its Production]. Patent RF, No. 2327719, 2008. [in Russian].

16. GOST 33136-2014. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Bitumy neftyanye dorozhnye vyazkie. Metod opredeleniya glubiny pronikaniya igly* [State Standard 33136-2014. Automobile Roads of General Use. Viscous Road Petroleum Bitumens. Method for Determination of Needle Penetration Depth]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 12 p. [in Russian].

17. GOST 33142-2014. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Bitumy neftyanye dorozhnye vyazkie. Metod opredeleniya temperatury razmyagcheniya. Metod «Kol'tso i Shar»* [State Standard 33142-2014. Automobile Roads of General Use. Viscous Petroleum Road Bitumens. Determination of the Softening Point. Ring and Ball Method]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 13 p. [in Russian].

Авторы

• Вагапова Альбина Ханифовна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Студент кафедры «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: kafedra_ecologia@mail.ru

• Кузнецова Гульнара Мажитовна, канд. техн.
наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: kafedra_ecologia@mail.ru

• Балакирева Светлана Васильевна, канд. техн.
наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: kosmonebo@mail.ru

• Кузнецов Вадим Олегович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Студент кафедры «Бурение нефтяных и газовых
скважин»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1

The Authors

• Vagapova Albina Kh.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: kafedra_ecologia@mail.ru

• Kuznetsova Gulnara M., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: kafedra_ecologia@mail.ru

• Balakireva Svetlana V., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: kosmonebo@mail.ru

• Kuznetsov Vadim O.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Oil and Gas Well Drilling Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation